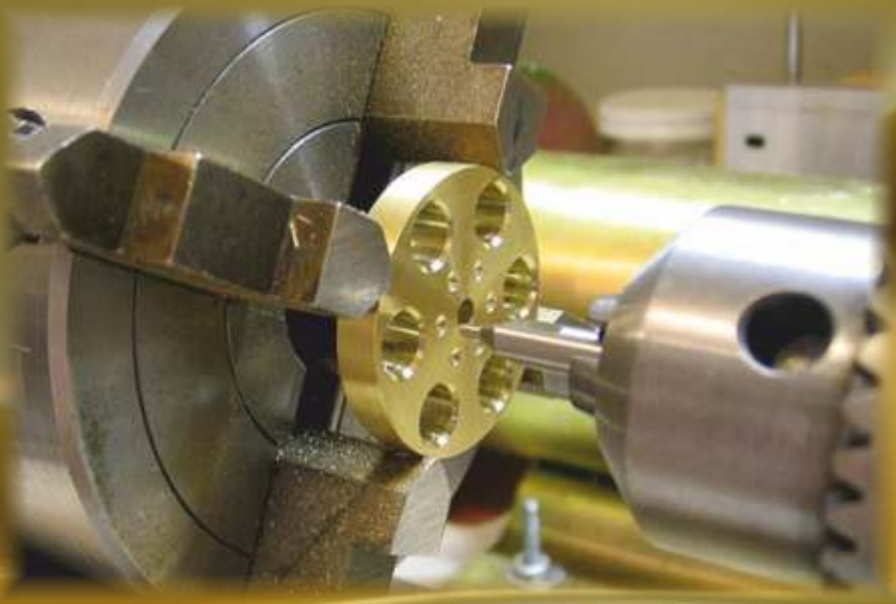
SARBAK METAL
TİCARET VE SANAYİ ANONİM ŞİRKETİ

EKO-SARI

SARBAK METAL
HEP İLERİ

"BAKIR ve BAKIR ALAŞIMLARI"

"İŞLENEBİLİRLİK"



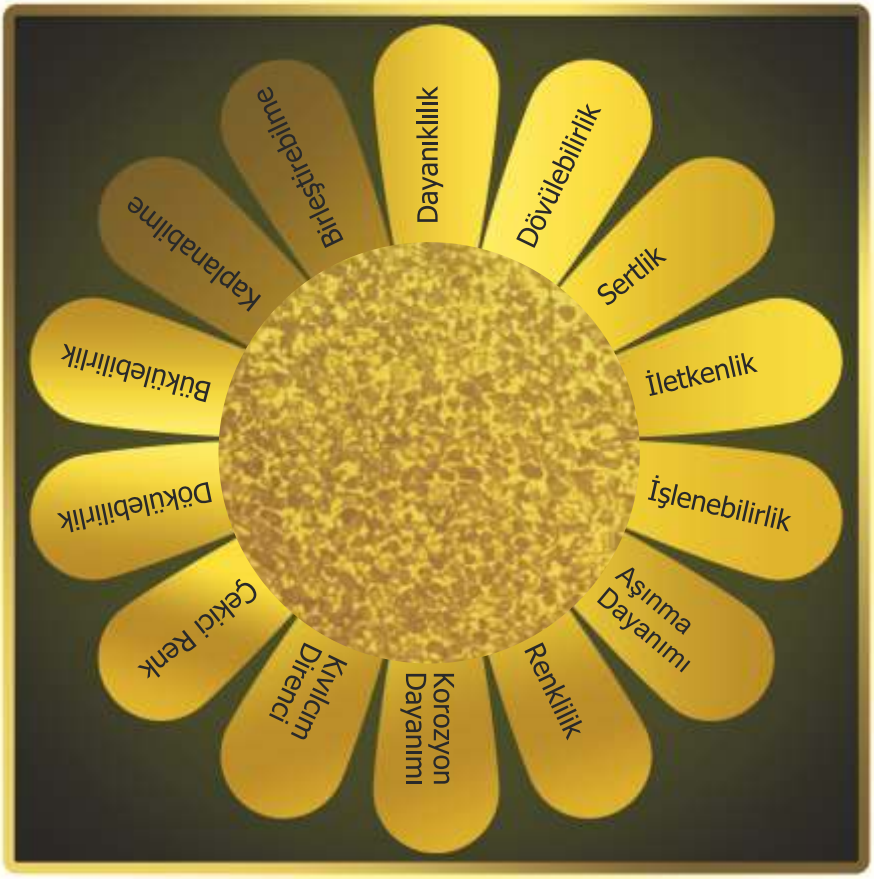
www.sarbak.com.tr
www.ekosari.com

Bir Sarbak Metal A.Ş. Yayınıdır.

BAKIR ve BAKIR ALAŞIMLARI

"İŞLENEBİLİRLİK"

Bakır ve Bakır Alaşımları İçin Tavsiye Edilen Talaşlı İmalat Parametreleri



SARBAK METAL

TİCARET VE SANAYİ ANONİM ŞİRKETİ

PİRİNÇ, BAKIR ALAŞIMLARI MAMÜLLERİ İMALATI

MERKEZ

Arapcami Mahallesi, Galata Mahkemesi Sk. Nafe Han No.13 Kat: 2 D: 12 34420 Karaköy - Beyoğlu - İSTANBUL

Tel.: 0090 (212) 237 66 04 (Pbx) Fax : 0090 (212) 253 51 45

FABRİKA

Organize Sanayi Bölgesi Gazi Osman Paşa Mah. İtfaiye Cad. No.3 59500 Çerkezköy - TEKİRDAĞ

Tel. : 0090 (282) 725 19 60 (Pbx) Fax : 0090 (282) 725 19 70

www.sarbak.com.tr • www.ekosari.com

E-mail: sarbak@sarbak.com.tr

Bu kitap SARBAK METAL TİC. ve SAN. A.Ş.'nin sektöre armağanıdır. Para ile satılmaz.

Sevinç ve Kıvanç doluyuz hepimiz;

*

Kaynak eserlerimizden ikincisi de sektörümüze armağanımızdır.

*

İmalat bandında, malzemenin karakterine uygun kullanım ile teknolojik gelişmelerle değişen kullanım parametrelerinin; gerek maliyet, gerekse milli servet kapsamı dahilinde değerlendirilerek **"en kaliteli ürünün, en az fire ile üretilmesi"** hedefine odaklanılmıştır.

Genç arkadaşlarımın;
Geniş ve detaylı bir araştırmasının,
Çok çeşitli kaynakları dikkatle taramalarının,

*

Geçmişten günümüze gelen tecrübe/teknoloji karışımının tarafımca sentez edilmesinin ürünüdür,

Sarbak Metal ailesi olarak biliyoruz ki; "Paylaştığın senindir, Biriktirdiğin değil.....,"

Aslında bir önsöz değil elbette bu,

Sürekliliği olacak,

Bir başlangıcın devamı,

Emeği Geçen Çalışma Arkadaşlarımız ;

Sn. Tuğhan Özçamsırtı (Fab. Md.)
Sn. M.Hakan Felek (İ.K.M.)
Sn. Bilal Barutçu (Tek. Md.)
Sn. İbrahim Gül (Dök. Md.)
Sn. Hürkan Karataş (Ür.Md.Yrd.)'a

Teşekkürlerimi sunarım.

Andon ARAKELYAN
SARBAK METAL SANAYİ ve TİCARET A.Ş.
Yönetim Kurulu Başkanı

Heyecan,
Var olmanın temel taşı,

*

Sarbak Metal ailesinin bir ferdi olarak;
İlk başladığım gün duymuş olduğum
heyecanı
Bugünde yaşayarak, yaşatarak
Yorulmadan, dinlenmeden,
Günümüze ve yeni nesillere aktarmaktır gayem,

*

Keza,
Prizmayız aslında bizler,
Bilgimizi, birikimlerimizi renk, renk yansıtan,
Üretmek,
Başarmak,
Paylaşmak,
Her yeni günü
Ayrı hedefleri olan renklere, aynı heyecan ile boyamak,

*

Özünde bunlar bulunmaktadır,
Akademik sunuma dönüştürülen ikinci eserimizin aktardıklarında,
Bakır ve Alaşımlarında ülkemiz mevcutları analiz edildiğinde;
eksiklikler, yanlış bilgi ve teknoloji ile bezenmiş unsurlarını ortadan kaldırmaya
yardımcı olmak ilkemiz ve milli kazancımızdır.

Yaşamdan yansımalar, yansıtmalarınız,
Hep güzel, mutluluk, paylaşımcılık ve yenilikçilik üzerine olsun,

Sevgilerimle,

Meliha HALIGÜR
SARBAK METAL TİCARET ve SANAYİ A.Ş.
Yönetim Kurulu Başkan Yardımcısı

Bakır alaşımları ve pirinç döküm sektörünün önde gelen firmalarından Sarbak Metal A.Ş.'nin bünyesinde 35 yılı aşkın bir süredir hizmet etmenin gururu ile 'Bakır ve Bakır Alaşımları için Tavsiye Edilen Talaşlı İmalat Parametreleri' kitabı sektörün hizmetine sunulurken farklı heyecanlar yaşadık.

Kaynak eserlerimizin ikincisi de bu şekilde sektörümüze armağan edilmiştir.

Sarbak Metal ailesinin bir ferdi olarak elinizdeki kaynak kitabın yayına hazırlanmasında isimlerini tek tek sayamadığımız fedakar ve gayretli takım elemanlarımızla gece gündüz yoğun bir mesai harcadık.

Sektörde liderlik iddiamızı sürdürmek için bundan sonra da her türlü gayreti üst düzeyde sürdürmek andımıza bağlı kalacağız.

Elinizdeki çok kıymetli kaynak eserin sektöre ve tüm topluma yarar sağlaması umudu ile.....

Saygılarımızla,

Hidayet ERDAL

SARBAK METAL A.Ş.
Yönetim Kurulu Üyesi

Aralık 2011

T A K D İ M

Elinizdeki 'Bakır ve Bakır Alaşımları için Tavsiye Edilen Talaşlı İmalat Parametreleri' başlıklı değerli eser, talaşlı imalat konusunda araştırma ve geliştirme yapan uzmanlara farklı malzemelerin talaşlı imalatla işlenebilmeleri konusunda mukayeseli değerlendirme imkanı vererek belirli bir parçanın işleme maliyetini hesaplama konusunda kolaylık sağlayacaktır.

Bu yüzden kitap içindeki muhtelif tablolara talaşlı işlenebilme index dereceleri ilave edilmiştir. Böylece sadece bakır alaşımları için değil aynı zamanda çelik ve alüminyum esaslı malzemelerin işlenebilirliği konusunda da mukayeseler yapılabilecektir.

Kitap içindeki tablolarda ilgili malzeme standartlarında bulunan sektördeki en güncel teknolojik bilgiler yansıtılmaktadır. Böylece çok farklı işleme metotları için referans değerler revize edilip genişletilerek en güncel hale getirilmiştir.

Kitapta ayrıca kurşunsuz pirinç alaşımları olarak EKO-SARI ticari unvanıyla tanımlanan Ecobrass, Ecocast ve Federalloy' ların da talaşlı imalatla işlenmesi konusunda ayrı bir bölüm açılmıştır. Bu üç alaşımın her biri de ilgili tablolardan görüleceği üzere çok iyi talaşlı işlenebilme, dövülebilme , soğuk işte yüksek dayanım ve geri dönüşebilir özelliklere sahiptir. Kurşunun pirinçten çıkarılmasına rağmen yukarıda verilen özellikler kurşunlu muadilleri gibidir ve hatta bazılarında daha iyidir. Genel alaşım bileşimi Ecocast ve Ecobrass için (%) olarak Cu;76-Zn:21-Si:3 ve Federalloy grubu için (%) olarak Cu:50-91Zn:kalan-Bi:1-4. kombinasyonlarındadır.Ekosarı alaşımları toksik maddeler içermez. Bu yönüyle Amerika, Japonya gibi ülkelerde kabul edilmiş ve ayrıca Avrupa ülkelerinde de 31 aralık 2012'de kabul edilecek çevre ve sağlık direktiflerine uyum sağlamaktadır.
Ekosarılar kurşunlu alternatif pirinçlerle karşılaştırılabilecek kadar mükemmel işlenebilirliğe sahiptir. Kısa ve kırılgan talaşlara sahiptir. Takım aşınması kurşunlu (CuZn39Pb3) ile karşılaştırıldığında az oranda yüksektir.

Genellikle bir malzemenin talaşlı işlenebilme özelliği çok karmaşık olup pek çok faktöre bağlı olması dikkate alınarak geniş kapsamlı bir kılavuz hizmeti görmesi bakımından kitapta konuyla ilgili kıyaslama (benchmarking) değerleri verilmiştir.

Kitapta sunulan verilerle belirli bir üretim prosesi için spesifik optimum talaşlı işlem parametreleri oluşturulmasına imkan tanınmakla beraber prosesin üretkenliği ve maliyet-etkililiği optimize edilebilecektir.

Kitabın bakır ve bakır alaşımları sektöründe her seviyeden uzman ve kullanıcı için talaşlı imalat uygulamalarında pratik ve kapsamlı bir kılavuz niteliği ile kolaylık , etkinlik ve verimlilik sağlamaya hizmet etmesi düşüncesiyle…

Saygılarımızla

A.Tuğhan ÖZÇAMSIRTI

SARBAK METAL A.Ş.
Fabrika Müdürü

Aralık 2011

Ö N S Ö Z

Bakır alaşımları ve pirinç döküm sektörünün önde gelen firmalarından Sarbak Metal A. Ş.'nin Türk sanayiine temel kaynak oluşturacak teknik yayınlar serisinden Sarı Metal 'Pirinç' temel el kitabını müteakip ikinci bir yayın olarak 'Bakır ve Bakır Alaşımları için Tavsiye Edilen Talaşlı İmalat Parametreleri' kitabı ayrıca sektörün hizmetine sunulmuştur.

Sektörde bir ilk oluşturan bu teknik yayın hem Türkçe hem de İngilizce olarak ayrı ayrı yayımlanmıştır. Kitap, Alman Bakır Enstitüsü çalışmalarından da yararlanarak yayına hazır hale getirilmiştir.

'Bakır ve Bakır Alaşımları için Tavsiye Edilen Talaşlı İmalat Parametreleri' isimli bu yeni el kitabında standart bakır ve bakır alaşımlarının talaşlı imalatı konusunda geniş kapsamlı bir inceleme ile çok detaylı teknik veriler dikkate sunulmuştur.

Eserin 1. Bölümünde, sektörün genel görünümü ve en son güncel gelişmeler hakkında genel bir tanımlama mevcuttur.

İkinci bölümde, bakır ve bakır alaşımları talaşlı imalatına ilişkin temel prensipler bahsedilmiştir. Özellikle, işleme takımı ve aletleri geometrisi ve bunun talaşlı kesimi etkileyen hususları üzerinde durulmuştur. İşleme takımı ve aletleri geometrisinin talaşlı kesim proses parametreleri üzerindeki etkileri detaylı nümerik tablolarla verilmiştir. Bu meyanda işleme takımında aşınma süreci ve talaş formasyonu üzerinde kapsamlı değerlendirmeler yer almıştır.

Üçüncü bölümdeki teknik tanımlamalar, bakır alaşımları işlemede takım ömrüne etki eden faktörler, kesme kuvvetleri, kesim ve işleme sonrası yüzey kalitesi, talaşın şekli ile ilgilidir.

Dördüncü bölümde, bakır esaslı malzemelerin talaşlı işlenebilirlik bakımından sınıflandırılması üzerinde durulmuştur. Bu konuda , bakır esaslı malzemelerin standardizasyonu, talaşlı üretimde değerlendirme kriterleri, döküm, soğuk şekillendirme ve **yaşlandırma sertleştirmenin** (age hardening), alaşım elementlerinin talaşlı işlem üzerindeki etkileri ile ilgili detaylı bilgiler yer almaktadır.

Beşinci bölümde, kesme takımı malzemelerinin teknik özellikleri belirtilirken, yüksek hız çelikleri, sert karbürler, kesici malzeme olarak elmas, kesici malzemenin seçilmesi ile ilgili kapsamlı tanımlamalar bulunmaktadır.

Altıncı bölümde kesme-takımı geometrisi anlatılırken yan talaş açısı (rake angle) ve boşluk açısı (clearance angle) terimleri dikkate alınarak kesici takım geometrisi ve kesilen malzeme arasındaki uyum özellikleri tanımlanmıştır.

Yedinci bölümde kesme sıvıları özellikleri, sekizinci bölümde talaşlı imalat işlemleri ile ilgili maliyetlerin hesaplanması ile ilgili detaylar yer almıştır.

Dokuzuncu bölümde bakır ve alaşımlarının çok yüksek hassasiyetle talaşlı işlenmesi üzerinde temel prensipler, bakır alaşımları talaşlı işlenmesi ile ilgili uygulama örnekleri, çalışılan malzeme özellikleri ile bunların çok yüksek hassasiyetle talaşlı işleme üzerindeki etkileri kapsamlı olarak belirtilmiştir.

Onuncu bölümde, bakır ve bakır alaşımları için talaşlı işlemede tavsiye edilen parametreler üzerinde geniş izahat bulunmaktadır. Bu kapsamda bakır ve bakır alaşımlarının tornada , CNC'de ve frezede işlenmesi, matkapla işleme, düz havşa açma, raybalama, vida dişi çekme ve diş açma, …vb işlemlerde önerilen parametreler için faydalı tablolar verilmiştir.

On birinci bölümde talaşlı işlem uygulamaları için farklı örnekler ek olarak verilmiştir.

On ikinci bölümde matematik formüller ve kısaltmalar yer almaktadır.

On üçüncü bölümde, referanslar , on dördüncü bölümde standartlar, konu hakkındaki regülasyonlar ve kılavuz prensipler vaz edilmiştir.

Bu kıymetli eserin , SARBAK METAL A.Ş.'nin 40 yılı aşkın geniş sektörel deneyiminin bir meyvesi olarak bakır alaşımları ve pirinç sektöründe faaliyet gösteren bütün sınai kuruluşlara, sektörle ilgili akademik kurum ve kuruluşlara ve yüksek öğrenim meslek lisesi öğrencilerine kıymetli bir temel kaynak oluşturacağı ümidindeyim. Özellikle talaşlı imalat uygulayıcı mühendis ve teknisyen ve ustalar kitaptaki özgün bilgi, veri ve tablolardan istifade ile metal işleme konusundaki problemlerine en etkili ve ekonomik çözümleri bulabilecektir.

Saygılarımızla

Yrd. Doç. Dr. Hikmet ERBIYIK

Aralık 2011

Bakır alaşımları ve pirinç döküm sektörünün önde gelen firmalarından Sarbak Metal A.Ş.'nin bünyesinde 10 yılı aşkın bir süredir hizmet etmenin gururu ile 'Bakır ve Bakır Alaşımları için Tavsiye Edilen Talaşlı İmalat Parametreleri' kitabı sektörün hizmetine sunulurken çok farklı bir heyecan duyduk.

Kitabın Türkçe ve İngilizce olarak iki ayrı baskı ile sektörün hizmetine sunulması sırasında birlikte büyük bir sinerjik güçle çalıştığımız Sarbak Metal A.Ş. çalışma grupları ile yoğun bir mesai içinde gayret sarf ederken çok farklı duygular yaşadık.

Sektörde liderlik iddiamızı sürdürürken özellikle sektörün bilgi birikimi ve teknolojik know-how seviyesini üst katmanlara ulaştırmak için bu tarz inovatif yayın faaliyetlerine verdiğimiz önemin bir göstergesi olarak Sarı Metal 'Pirinç' isimli önceki kapsamlı temel esere ilaveten elinizdeki bu ikinci 'Bakır ve Bakır Alaşımları için Tavsiye Edilen Talaşlı İmalat Parametreleri' başlıklı eseri sektörün hizmetine sunmanın kıvancını taşıyoruz.

Saygılarımızla

M. Hakan FELEK

SARBAK METAL A.Ş.
İnsan Kaynakları Müdürü

Aralık 2011

İçindekiler

1 Son Teknoloji 1
2 Temel İlkeler 3
2.1 Takım geometrisi ve kesme sürecine etkisi 3
2.1.1 Takım geometrisi 3
2.1.2 Takım geometrisinin kesme sürecine etkisi..... 4
2.2 Takım aşınması 8
2.3 Talaş oluşumu 9
3 Talaşlı İmalatta Kullanılabilirlik 11
3.1 Takım ömrü 11
3.2 Kesici güç 13
3.3 Yüzey kalitesi 16
3.4 Talaş şekli 19
4 Bakır Esaslı Malzemelerin Talaşlı İmalat Gruplarıyla Sınıflandırılması..... 21
4.1 Bakır malzemelerin standartlaştırılması 21
4.2 Talaşlı imalata uygunluğun değerlendirme kriterleri..... 21
4.3 Döküm, soğuk biçimlendirme ve yaşlandırma sertleştirmesi işlemlerinin talaşlı imalata uygunluk üzerindeki etkisi..... 22
4.4 Alaşım elementleri ve bunların talaşlı imalata uygunluk üzerindeki etkisi..... 23
4.5 Bakır ve bakır alaşımlarının başlıca talaşlı imalat gruplarında sınıflandırılması.....26
5 Kesici Takım Malzemeleri 30
5.1 Yüksek hız çeliği 30
5.2 Karbürler 30
5.3 Kesim malzemesi olarak elmas 31
5.4 Kesici Malzemenin Seçilmesi 32
6 Kesici Takım Geometrisi..... 33
6.1 Kesme ve talaş kaldırma açısı 33
7 Kesme Sıvıları..... 35
8 Talaşlı İmalat Maliyetlerinin Hesaplanması 36
9 Bakırın Yüksek Hassasiyetle Talaşlı İmalatı 38
9.1 Yüksek hassasiyetle talaşlı imalatın ilkeleri 38
9.2 Bakır alaşımlarını içeren örnek uygulamalar..... 38
9.3 Malzeme özellikleri ve bunların yüksek hassasiyetli talaşlı imalat üzerindeki etkileri..... 39
10 Bakır ve Bakır Alaşımları İçin Tavsiye Edilen Talaşlı İmalat Parametreleri..... 41
10.1 Bakır ve bakır alaşımlarının torna işlemleri 41
10.2 Bakır ve bakır alaşımlarının delinmesi ve havşa açımı..... 42
10.3 Bakır ve bakır alaşımlarının raybalanması 44
10.4 Bakır ve bakır alaşımlarında diş açılması ve kılavuz çekilmesi 44
10.5 Bakır ve bakır alaşımlarının frezelenmesi 45
11 Ek 47
11.1 Talaşlı imalat örnek uygulaması..... 47
12 Matematiksel Formüller..... 54
12.1 Denklemler..... 54
12.2 Semboller ve kısaltmalar..... 56
13 Referanslar 59
14 Standartlar, Yönetmelikler ve Kılavuz Kurallar 61

1 Son teknoloji

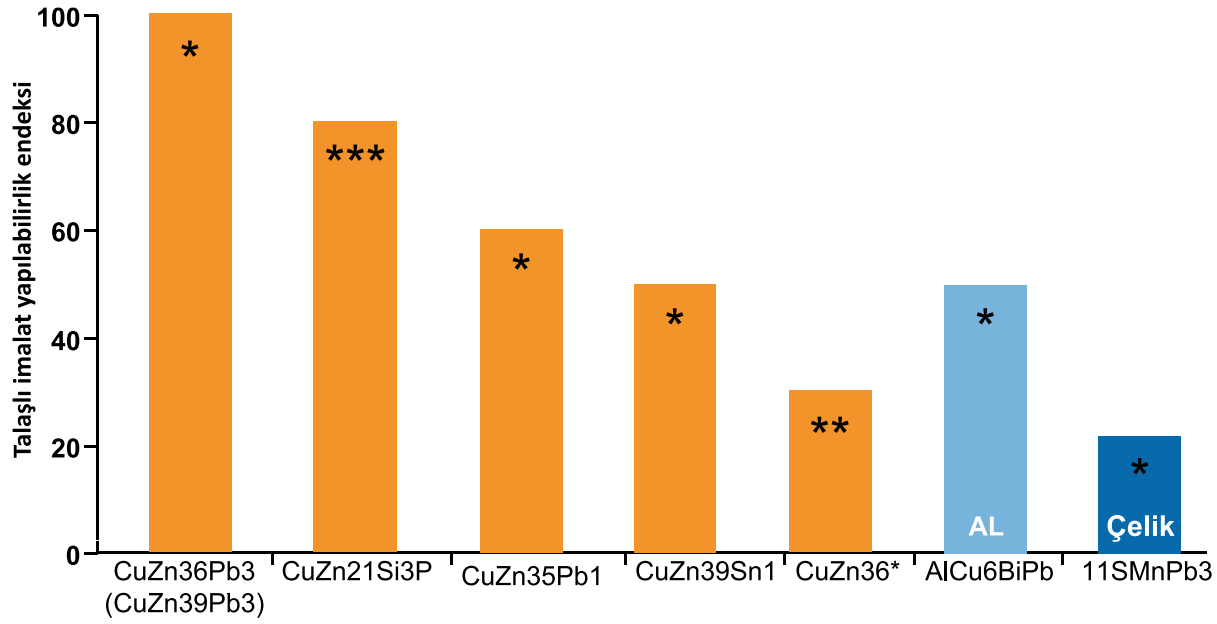
Diğer metalik yapı malzemeleriyle karşılaştırıldığında bakır esaslı malzemelerin çoğunun talaşlı imalatının yapılabilmesi nispeten kolaydır. CuZn39Pb3 adlandırmalı serbest kesim pirinç, her türlü torna parçasının imalatında mükemmel bir malzeme olarak kabul edilmiştir. Bu bakır-çinko alaşımlarının mükemmel talaşlı imalat yapılabilme özellikleri o kadar iyi bilinmektedir ki, sıklıkla bakır ve bakır alaşımlarının talaşlı imalat yapılabilme özelliklerinin tarifinde ana kriter olarak kullanılmaktadır.

Bakır alaşımlarının talaşlı imalatının yapılabilmesi, aynı güçteki çelik veya alüminyumun talaşlı imalatının yapılabilmesine göre ciddi ölçüde daha kolaydır (Şekil 1'e bakınız). Şekil 2'de gösterildiği gibi kesme güçlerinin düşmesinde de bu görülmektedir. Belirli teknik gereklilikler, başka bir malzeme kullanmamızı gerektirmedikçe serbest kesim pirinç CuZn39Pb3, torna ve talaşlı imalat atölyelerinin ve CNC torna atölyelerinin tercih ettiği malzemedir.

Seri imalat parçaları bakır malzemeden talaşlı imalata uygundur. Çok sayıda teknik ve mühendislik gerekliliğini karşılamak için yıllar içerisinde çok sayıda bakır esaslı malzeme geliştirilmiştir. Yakın geçmişteki gelişmeler arasında hafif alaşımlı bakır alaşımları, bakır-nikel alaşımları ve kurşunsuz bakır alaşımları bulunur. Mevcut malzeme yelpazesi, yüksek dayanımlı bakır-alüminyum alaşımlarından yüksek esneme niteliğine sahip çok yumuşak saf bakırlara kadar değişiklik göstermektedir.

Bir malzemenin başka biriyle karşılaştırıldığında talaşlı imalat yapılabilirliğindeki farklılıklar, mekanik ve fiziksel özelliklere kadar geri takip edilebilir. Birçok makine operatörünün, daha az yaygın kullanılan bakır malzemelerin talaşlı imalat yapılabilirliği hakkında sınırlı bilgisi bulunmaktadır. Sonuç olarak tek ve aynı malzeme için varsayılan talaşlı imalat verileri, bir talaşlı imalat atölyesinden bir diğerine ciddi ölçüde farklılık gösterebilmektedir. Dolayısıyla özellikle metal kesim sektöründeki devam eden gelişmeler göz önünde bulundurulduğunda bakır ve bakır alaşımlarının güncel referans değerleri ve tavsiye edilen işleme parametreleri için çok kesin bir ihtiyaç bulunmaktadır. Bunun yanısıra ilgili talaşlı imalat verilerini seçmek ve uyarlamak suretiyle talaşlı imalat faaliyetlerinin optimize edilmesi, yüksek hacimli seri üretimde çok büyük ticari önem taşımaktadır.

Malzeme gelişimi, malzemenin özelliklerinin sürekli gelişimine odaklanmaktadır. Talaşlı imalat maliyetlerini düşürmek için fabrika sahipleri genellikle gelişmiş talaşlı imalat yapılabilme özellikleri olan fakat mekanik ve fiziksel özellikleri temelde değişmeyen malzemeler talep ederler. Bu eğilimin örnekleri arasında CuTeP ve CuSP alaşımları bulunmaktadır. Her ne kadar saf bakırın çok yüksek iletkenlik değerleri olsa da tüp şeklinde ve iç içe geçmiş talaşlar üretiyor olması talaşlı imalatının yapılabilmesini zorlaştırabilir. Bu nedenle talaş kıran alaşım elementleri olarak saf bakıra tellür, sülfür veya kurşunun eklendiği alaşımlar geliştirilmiştir. Bu alaşımların iletkenliği, saf

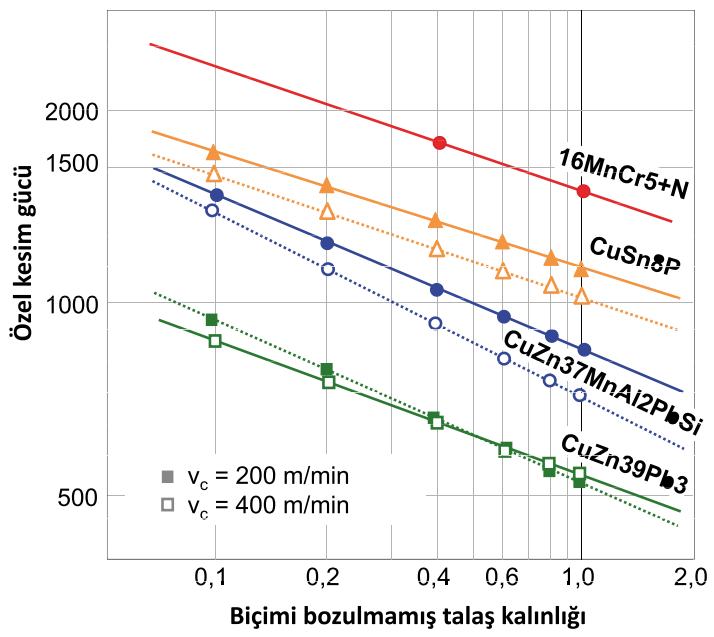


* Referans malzeme olarak CuZr36Pb3 ile ASTM E618 test yöntemi kullanıldığında CDA talaşlı imalat yapılabilirlik oranları (Avrupa'da referans malzeme CuZn39Pb3 bakır -çinko alaşımıdır)

** CuZn36: DKI malzeme verileri tablosu esasında talaşlı imalat yapılabilirlik oranı

*** CuZn21Si3P: İmalatçının belirlediği talaşlı imalat yapılabilirlik oranı

Şekil 1: *Bakır alaşımlarının talaşlı imalat yapılabilirliğinin serbest kesim çelik ve alüminyum alaşımınkiyle karşılaştırması [1, 2,3]*



Malzeme	v_c m/min	$k_{c1.1}$ N/mm²	1-m_c
CuZn39Pb3 Her zaman otomat pirinci	200	539	0,7886
	400	521	0,7458
CuSn8P Bakır-kalay alaşımı	200	1137	0,8211
	400	1020	0,8059
CuZn37MnAl2PbSi Özel pirinç	200	845	0,7561
	400	715	0,7036
16MnCr5+N Yüzeyi sertleştirilmiş çelik	200	1302	0,7092

■ CuZn39Pb3 ▲ CuSn8P ● CuZn37MnAl2PbSi	N10 - N20 α_o = 7°; γ_o = 0°; λ_σ = 0° κ_r = 93°; ε_r = 55°; r_ε = 0,4 mm; a_p = 1 mm
● 16MnCr5+N	P10 α_o = 5°; γ_o = 6 °; λ_s = 0 ° κ_r = 70°; ε_r = 90°; r_ε = 0,8 mm; a_p = 3 mm

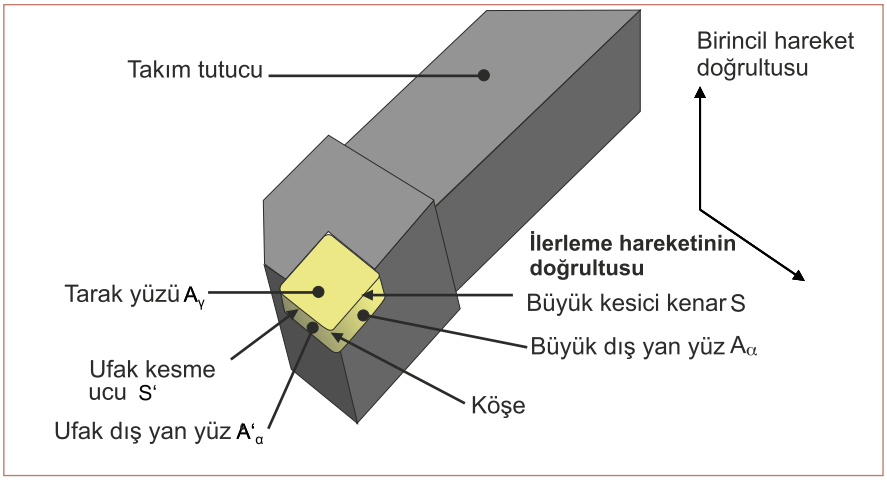
Şekil 2: *DKI verilerine ve referansa dayalı olarak üç bakır alaşımının özel kesim gücünün yüzeyi sertleştirilmiş çeliğinkiyle karşılaştırması [4]*

bakırınkinin biraz altındadır fakat alaşım elementlerinin ilavesi ile, otomatik vidalı makinelerde yada diğer yüksek hızlı makinelerde işlemden geçirilebilmektedirler.

Hem çalışma parçasında hem de kesim takımı malzemelerinde sürekli gelişmeler yapılması, bugünün imalatçılarının tavsiye edilen kesim parametrelerini veya daha uzun bir süre geçerli kalacak temel kriterleri sağlamasını zorlaştırmaktadır. Eğer gerçekçi talaşlı imalat şartları altındaki kesim testleriyle ekleme yapılırsa ve/veya doğrulanırsa bu elkitabında sunulan temel parametreler ve tavsiye kararları, makine operatörlerinin belirli bir talaşlı imalat görevi için optimal talaşlı imalat parametrelerini bulmasına yardımcı olabilir. Eğer sadece düşük hacimli üretim gerekiyorsa elkitabında sunulan referans değerler, tatmin edici bir talaşlı imalat sonucu elde etmeye yeterli olmalıdır.

2 Temel ilkeler

Bu bölümde standart torna takımı (tek-noktalı takım) kullanılmak suretiyle kesici takım geometrisiyle,takım yıpranmasıyla ve talaş oluşumuyla ilgili metal kesiminin temel terminolojisi hakkında açıklamalar sunulmaktadır. Bu terminoloji tanımlanmış kesici kenarı olan diğer her türlü talaşlı imalat prosedürü için eşit biçimde geçerlidir. Temel terminolojiyle aşina olmak, bakır ve bakır alaşımlarının talaşlı imalat özelliklerini anlamada büyük öneme sahiptir.



Şekil 3: *Torna aletinin yüzü, yanları, kesici kenarları ve köşesi (DIN 6581)*

2.1 Takım geometrisi ve kesme sürecine etkisi

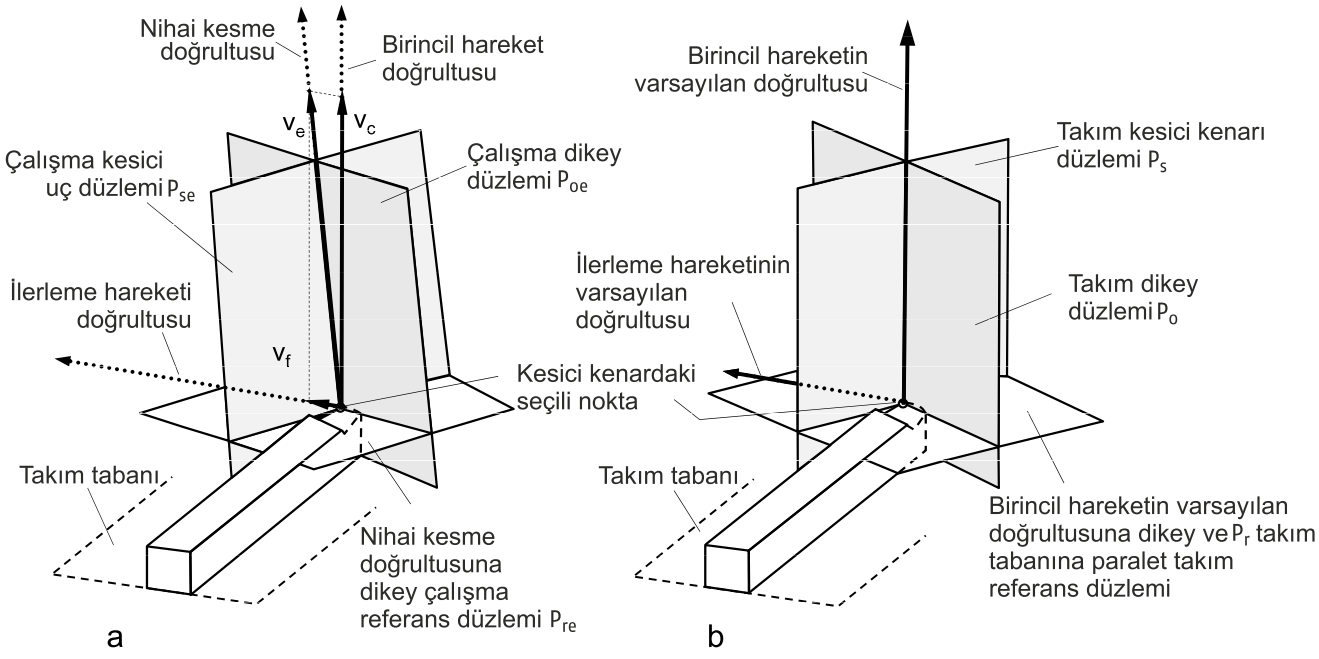
Metal kesim teknolojisinin temel terminolojisi, DIN 6580, DIN 6581, DIN 6583 ve DIN 6584 standartlarıyla standart hale getirilmiştir. Tek noktalı kesici takımın yüzeyleri ve kesici kenarları, Şekil 3'te gösterilmektedir.

2.1.1 Takım geometrisi

Şekil 3 • tarak yüzüyle büyük ve küçük kenar yüzeylerini içeren torna takımının kesici parçasını göstermektedir. Bu yüzeylerin bir diğerine karşı nispi yönelimi, takım açılarını belirler.

Kesici takımı tarif etmek için kullanılan terimleri ve açıları açıklamak için 'elde takım' olarak adlandırılan sistemle 'kullanımdaki takım' olarak adlandırılan sistem arasında ayrım yapmak yararlıdır (Şekil 4). İki sistem de farklı dik açılı referans düzlemlerine dayalıdır.

Kullanımdaki takım sistemi, kesici takımın nispi hızlarıyla ve talaşlı imalat faaliyeti sırasındaki çalışma parçasıyla ilişkili olarak tanımlanır. Çalışma referansı düzlemi P_{re}, kesici kenardaki seçilen noktanın üzerinden geçer ve sonuçta çıkan kesme doğrultusuna dikeydir. Sonuçta çıkan kesme doğrultusunun yönelimi, kesme ve ilerleme hızı vektörlerinin nihai durumuyla verilmektedir.



Şekil 4: *(a) Kullanımda takım referans sistemi (b) Elde takım referans sistemi (DIN 6581)*

Elde takım sisteminde takım referans düzlemi P_r takım tabanına paraleldir. Takım kesici kenarı düzlemi P_s, kesici kenarına teğet ve P_r takım referans düzlemine dikeydir. Kesici takımın geometrisi, P_o takım dikey düzleminde ölçülür. Bu düzlem, hem P_r takım referans düzlemine hem de P_s takım kesici kenar düzlemine dikey olan kesici kenardaki seçilen noktadan geçer. Elde takım sisteminde, kama şekilli kesici takımın açıları aşağıdaki gibi tanımlanmıştır (Şekil 5'e bakınız):

- α_o takım dikey açıklığı, A_α düzlemi ile P_o takım dikey düzleminde ölçülen P_s takım kesici kenar düzlemi arasındaki açıdır.

- β_o takım dikey kama açısı, A_α yanıyla P_o takım dikey düzleminde ölçülen A_γ yüzü arasındaki açıdır.

- γ_o takım dikey tarağı, A_γ yüzeyiyle P_o takım dikey düzleminde ölçülen P_r, takım referans düzlemi arasındaki açıdır.

Bu üç açının toplamı her zaman 90°'dir:

$$\alpha_o + \beta_o + \gamma_o = 90° \quad (1)$$

- Takım kesici ucu κ_r, ilerleme hareketinin varsayılan doğrultusuyla P_r takım referans düzleminde ölçülen P_s takım kesici kenarı arasındaki açıdır.

- Takımın içerdiği açı ε_r, P_s takım kesici kenar düzlemiyle P_r takım referans düzleminde ölçülen P_s' takım ufak kesim kenarı düzlemi arasındaki açıdır.

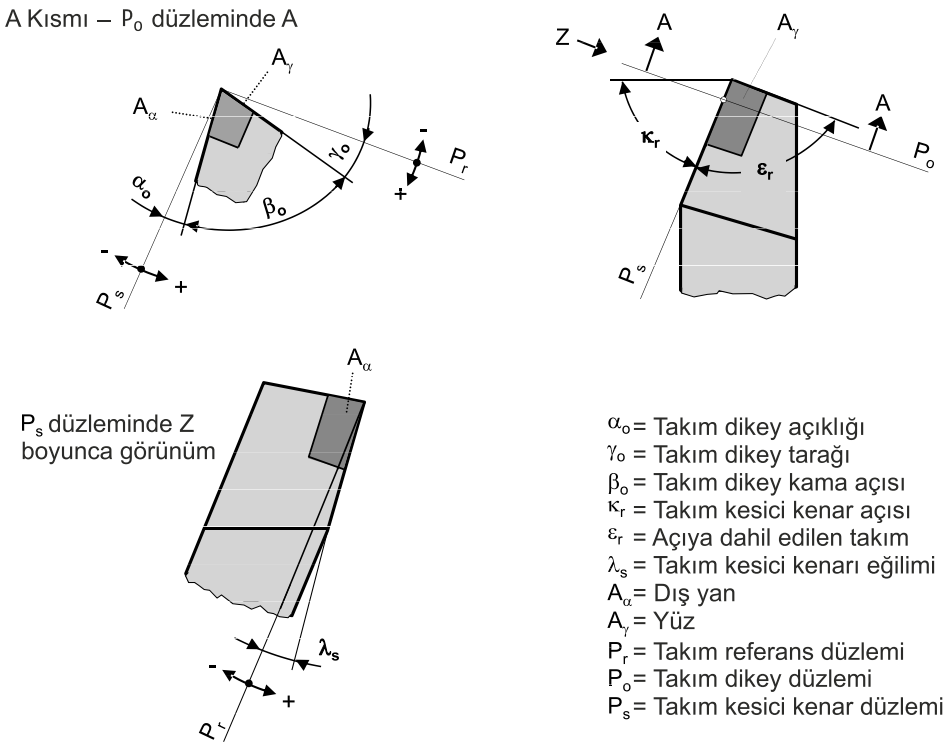
- λ_r takım kesici uç eğilimi, S büyük kesici kenarıyla P_r takım kesici kenar düzleminde ölçülen P_s takım referans düzlemi arasındaki açıdır.

Burada tek noktalı kesici takım, farklı miktarların en açık ifadesine imkan verdiği için özellikle de torna takımı kullanarak terminoloji ile takım açılarını tarif etmeyi seçmiş bulunuyoruz. Ancak ilke olarak burada sunulan tanımlamalar, geometrik olarak tanımlanmış kesici kenarı olan bütün kesici takımlara uygulanabilir.

2.1.2 Takım geometrisinin kesme süreci üzerindeki etkisi

Kesici açı seçiminin talaşlı imalat faaliyetinin sonuçlarıyla takım ömrü üzerinde büyük etkisi vardır. Maliyet-etkin malzeme işlemleri sağlanmasına ne kadar çok vurgu yapılırsa optimal takım geometrisini tespit etmenin önemi de o kadar büyük olacaktır. Uygun kesici açılar seçmek, pahlı ve yuvarlak açılar seçmek suretiyle kesici takımın sabitliği ve dolayısıyla ömrü yükseltilebilir. Kesici takımın geometrisinin optimize edilmesi, gerçekleştirilecek talaşlı imalat faaliyetinin ve kullanılacak talaşlı imalat şartlarının özel gerekliliklerini göz önünde bulundurmak anlamına gelir.

Aynı zamanda takım açılarını değiştirmenin etkisinin iki yönlü olduğunu hatırlamak da önemlidir. Takımı güçlendirmek için takım açılarının değiştirilmesi, talaş oluşumuna zarar verir ve kesme gücü artar,takım aşınır. Aksine, takım açılarının



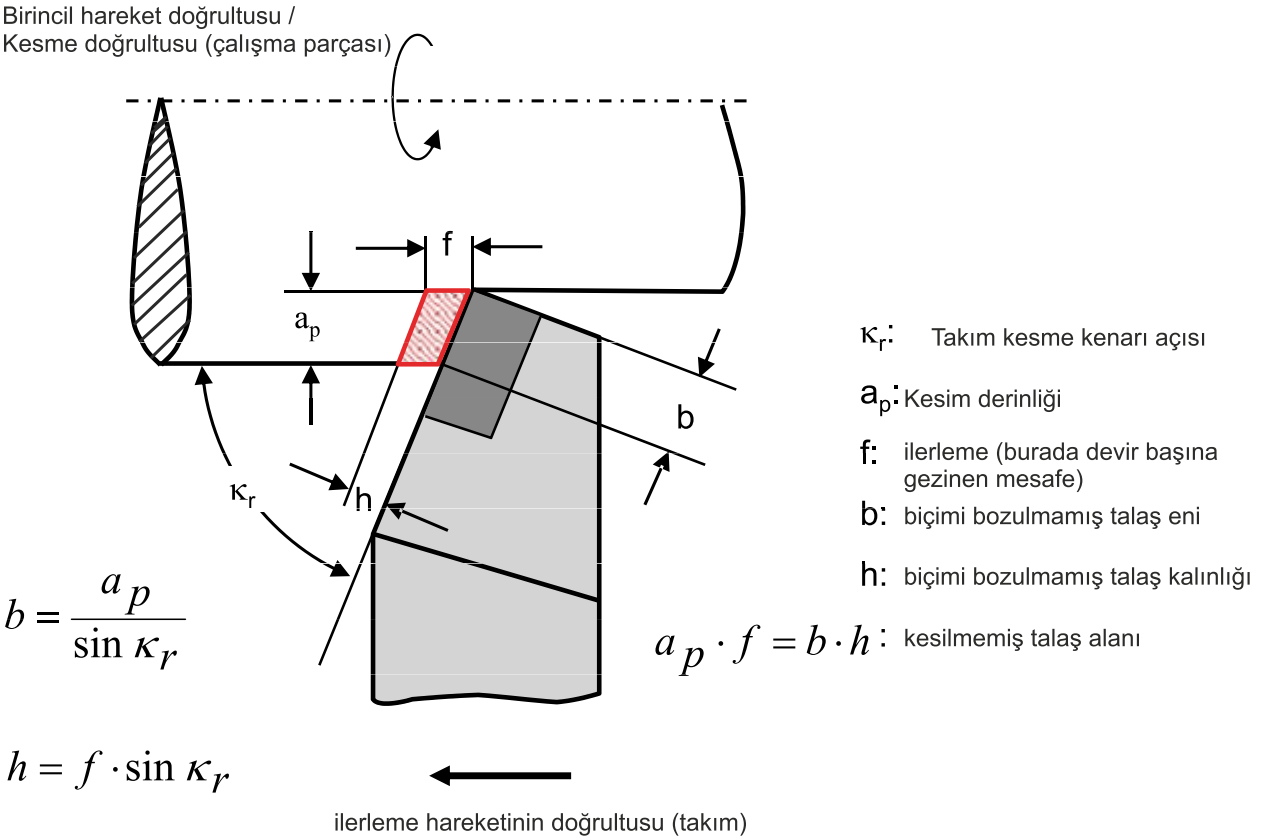
Şekil 5: *En önemli takım açıları (DIN 6581)*

değiştirilmesi talaş oluşumunu geliştirir, takım dayanıklılığını düşürür ve dolayısıyla takım ömrünü de düşürür. Takım açıları arasında yapılacak herhangi tercih, sadece farklı talaşlı imalat gerekliliklerini kısmen karşılayan bir uzlaşıyı temsil eder. Bu kılavuzda bulunan, tavsiye edilen takım geometrisi parametreleri tablolarını kullanırken bunun anlaşılması önemlidir. Ne zaman diğer faktörler göz önünde bulundurulursa tavsiye edilen takım geometrisinin de pratikteki işletim tecrübesi temelinde değiştirilmesi gerekecektir. Bu gibi durumlarda kesim açısındaki belirli bir değişikliğin talaşlı imalat parametrelerini nasıl değiştireceğini bilmek önemlidir. Kesici takım malzemeleri alanında kaydedilen ciddi ilerlemeler göz önünde bulundurulduğunda takım yıpranmasını azaltmak için takım geometrisinin değiştirilmesi artık eskisi kadar önemli değildir. Takım açılarını değiştirmenin başlıca gerekçesi talaş oluşumunun ve talaş çıkarmanın geliştirilmesidir.

Bakır malzemeleri yüksek hız çeliği (HSS) kesme takımıyla işlemden geçirirken açıklık olağan olarak 6° ile 8°; arasındadır; eğer sinterlenmiş karbür kesici takımı kullanılırsa açıklık 8° ile 10°arasında yer alır. Geniş açıklıklar dış yan yıpranmasını azaltma ve kama şekilli kesici takımın çalışma parçası malzemesine nüfuz etmesini kolaylaştırma eğilimi gösterir. VB dış yan yıpranmasının belirli bir sabit değerinde talaş kaldırma açısındaki küçük artışlar, artan yıpranma hacminden ötürü kesici kenarın servis ömrünü uzatacaktır. Daha geniş yıpranma hacminin kaldırılması, takım ömrünün de ona göre artması için daha uzun bir süre gerektirir. Ancak daha geniş talaş kaldırma açısı aynı zamanda daha zayıf takım kesici ucu anlamına da gelir ve bu da dolayısıyla talaş kaldırma açısının artırılabileceği ölçüye bir limit getirir. Talaş kaldırma açısı arttıkça takım ucunda ısıda birikerek uçta malzeme kırılması riskini artırır. Ucun bükülme hareketi direnci de açıklık açısının artmasıyla birlikte güçlü bir biçimde düşer.

Bütün takım açıları içinde takım tarağı γ_0 en büyük anlama sahiptir. Deformasyon enerjisi ile talaş oluşumu sırasında yayılan kesme enerjisinin büyüklüğü, takım tarağına bağlıdır.

Bakır malzemeleri talaşlı makinede işlerken takım tarağı normalde 0° ile 25° arasındaki geniş aralıkta yer alır. Kaynaşık karbür takımıyla talaşlı işlem yaparken, en düşük kesici güçlü (saf bakır, CuZn10) en yumuşak malzemeler için en geniş tarak açıları seçilir çünkü bunlar kesici kenarına aşırı yükleme yapmayan malzemelerdir



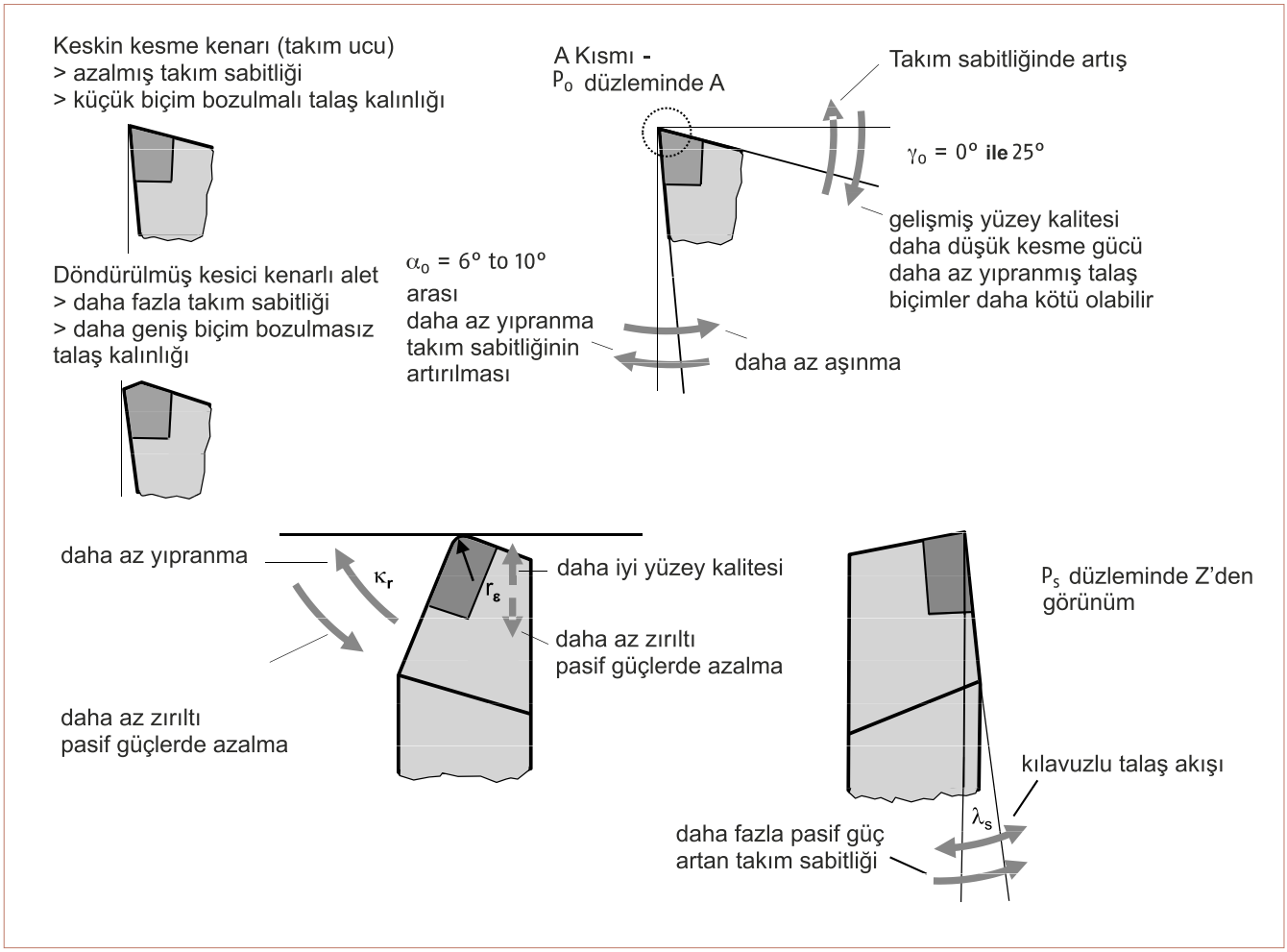
Şekil 6: *Silindirik torna sırasında takım kullanımı geometrisi (eğri kesim yapılandırması)*

Takım tarağı ne kadar genişse biçim bozulması ve kesme enerjisi ve dolayısıyla kesici kenara uygulanan basınç da o kadar düşük olacaktır. Kesme güçleri buna göre azaltılır ve kesici kenarın sıcaklığı da düşer. Talaş sıkıştırma oranı düşer ve talaşlı imalat yüzey kalitesi de buna göre gelişir. Daha geniş tarak açıları, oluklu bakır malzemelerin talaşlı imalatını yaparken talaş akışını kolaylaştırır fakat bunlar da bantlı talaş ve iç içe talaş oluşumunu kolaylaştırır.

Eğer belirli bir kesim gücü artırılacaksa yada eğer biçimi bozulmamış (yani kesilmemiş) talaş kalınlığı artırılacaksa yada eğer takım malzemesinin çapraz çatlak gücü düşmüşse tarak açısı azaltılmalıdır. Bu da kesme takımının sabitliğini geliştirir ve takım kırılması riskini azaltır. Bakır esaslı malzemelerin talaşlı imalatını yaparken yüksek dayanımlı bakır alaşımları için en küçük takım tarakları kullanılır. Güçlü kesme takımları, çalışma parçasının yüksek hızlı tornadan geçmesine imkan verir. Dezavantajı ise tarak açısının azalmasıdır, kesme güçlerinin artması, dolayısıyla gerekli talaşlı imalat gücünün yükselmesidir.

a_p sabit derinliğinde ve f sabit takım ikmalinde, b biçimi bozulmamış talaş eni ile h biçimi bozulmamış talaş kalınlığı, κ_r takım kesici kenar açısına bağlıdır (Şekil 6). Eğer takım kesici kenar açısı çok küçükse (veya aynen eğer takımın burun yarıçapı çok büyükse) pasif güçler daha büyük olacaktır ve eğer talaşlı imalattan geçirilen malzeme zayıfsa bu da biçim bozulmasını ve zırıltıları kolaylaştıracaktır. Bakır ve bakır alaşımlarını işlemden geçirirken 70° ile 95° arasında κ_r geniş takım kesici kenar açısı tipik olarak seçilir. Yumuşak bakır veya gun metali gibi çalışma malzemeleri $\kappa_r = 90°$ takım kesim kenarı açısı tercih edilir. Diğer yandan eğer kesim derinliği sabit tutulursa takım kesim kenarı açısında bir azalma, b bozulmamış talaş eninde artışla sonuçlanır. Çünkü stres, kesim kenarının daha geniş kısmında dağılır. Takım ömrü buna göre artar ve bu da kesme hızlarında hafif bir artışa yol açar. Tablolarda belirtilen talaşlı imalat parametreleri, 70° ile 90° arasındaki geniş takım kesim kenarı açıları için geçerlidir.

λ_s takım kesim kenarı eğilimi (Şekil 5, Şekil 7), kesimin kesintiye uğraması halinde kesme kenarını sabitleştirmek ve talaş akışını etkilemek için basit bir araç sunar. Eğer takım kesim kenarının eğilim açısı negatifse,



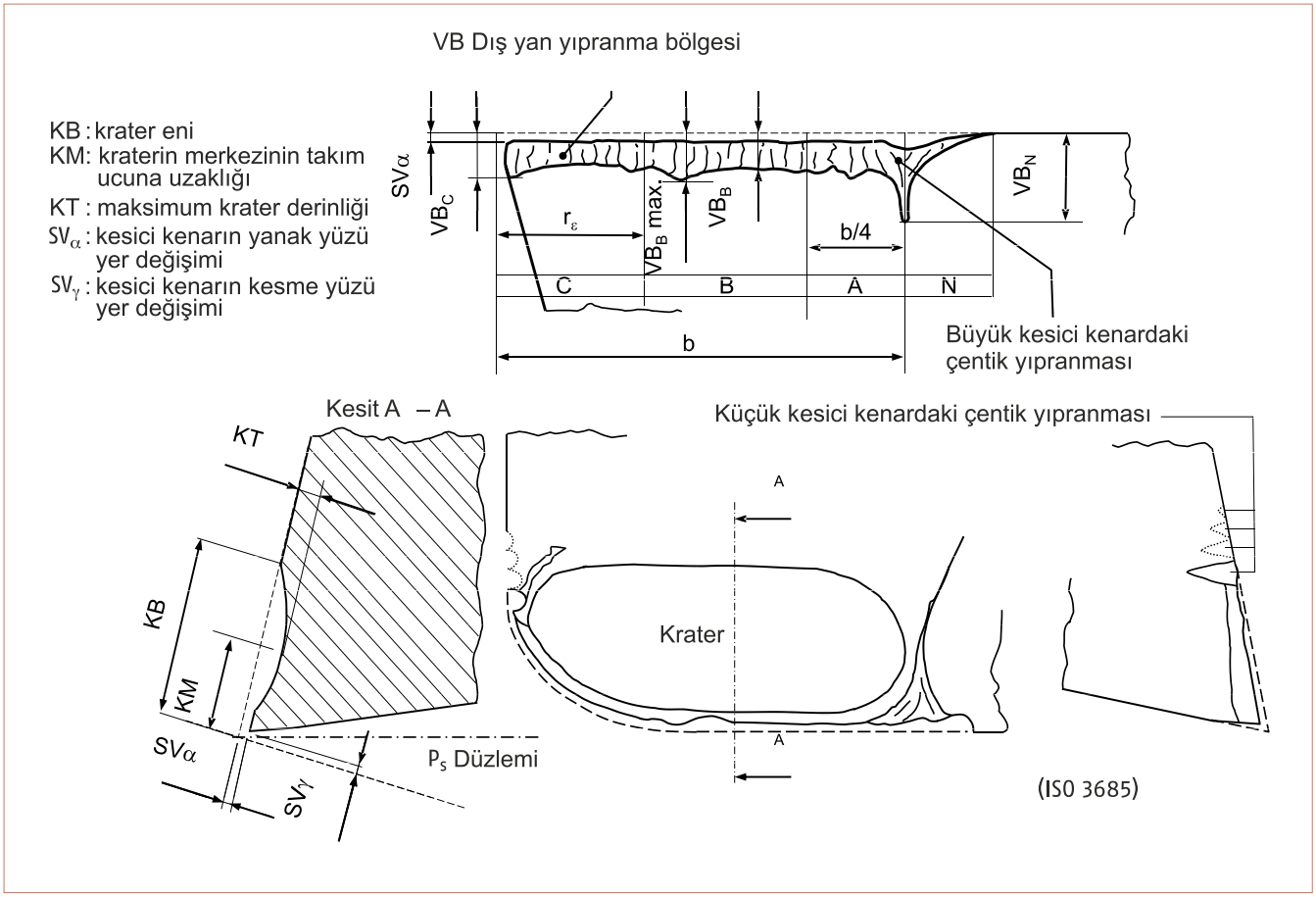
Şekil 7: *Takım geometrisinin kesme sürecine etkisi*

çalışma parçasıyla takım arasındaki ilk temas noktası, takımın üzerinde oluşarak takımın en hassas bölümü olan ucunu korur. Bakır malzemeleri talaşlı işlemden geçirirken kesici kenarın yüksek etkili yüklemesi pek muhtemel olmadığından özellikle çalışma parçasının makinede hafif işlemden geçirilmesi gerektiğinde λ_s genellikle 0° olarak ayarlanır.

Makinede kaba işlem çalışmaları ve yüksek dayanımlı bakır alaşımlarındaki kesintili kesimler için negatif takım kesici kenarı eğilimi tercih edilir. Pozitif bir eğilim açısı, takım yüzü boyunca talaş akışını geliştirir ve bu nedenle çalışma yüzeylerine yapışma yada gerinim pürüzlüleşmesinden geçme eğilimi gösteren saf bakır gibi malzemeleri işlemden geçirirken tercih edilir.

Takımın içerdiği ε_r açısı (Şekil 5 / Şekil 7), büyük ve küçük kesici kenarlar arasındaki açıdır. ε_r'nin ebadının, baskıya direnecek kesici kenar üzerinde ciddi bir etkisi bulunmaktadır. Açıdaki takım ne kadar küçükse kesici kenarla sürdürülebilecek mekanik yükleme de o kadar küçük olacaktır. Ayrıca talaşlı imalat sırasında oluşan ısı, takım daha büyük termal baskıya maruz bırakılacak şekilde kesici kenar köşesinden dışarı doğru çok iyi yönlendirilir. Takıma dahil olan açı mümkün olduğunca geniş olmalıdır. Bakır malzemelerde yapılan birçok talaşlı imalat faaliyetinde ε_r, 90° olarak seçilir. Ancak çalışma parçasında sağ açılı bir köşe işlemden geçirilirken 90°'den daha az bir takım dahil açı gerekir. Birçok durumda takım kesici kenar açısıyla takımın dahil olduğu açı arasında bir arayol bulunmalıdır.

Gerçekleştirilecek belirli bir talaşlı imalat faaliyeti için burun yarıçapının büyüklüğü (aynı zamanda takım köşe yarıçapı olarak da bilinir) r_ε (Şekil 5 / Şekil 7) seçilmelidir. Eğer burun yarıçapı çok küçükse kesici kenarın köşesi erken yıpranmaya maruz kalacaktır. Sonuçta küçük köşe yarıçapları ince talaşlı imalat çalışmalarına ayrılır. Eğer seçilen burun yarıçapı çok büyükse takımın küçük kesici kenarının çalışma parçasının yüzeyine kazınarak küçük kesici kenarın yanı üzerinde, makinede işlenmiş çalışma parçası yüzeyinin kalitesi üzerinde belirleyici bir etkisi olan (Şekil 8) çentik yıpranması oluşturması eğilimi bulunur. r_ε burun yarıçapının optimal değeri, biçimi bozulmamış talaş kalınlığı h'ye ve dolayısıyla f; ilerleme değişimine bağlıdır. Burun yarıçapı r_ε genelde ilerlemenin 1.2 ile 2 misli arasında olmalıdır; çünkü bakır için r_ε genelde 1.5*f' den daha küçük olarak seçilmelidir. Cu-DHP gibi yumuşak bakır malzemeler için makinede işlenmiş yüzey kalitesi büyük ölçüde, r_ε burun yarıçapına bağlıdır. Yivli malzemeleri makinede işlemden geçirirken küçük bir burun yarıçapı, ufak kesici kenar bölgesindeki kesimi geliştirebilir.



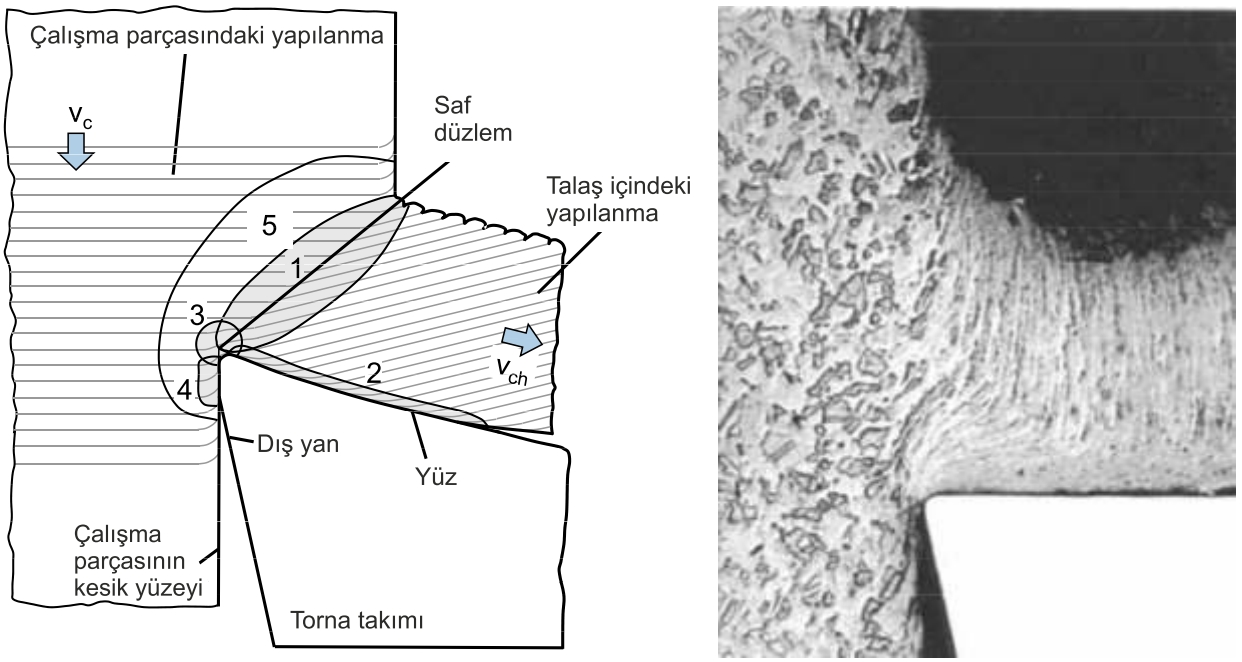
Şekil 8: *Torna takımlarındaki yıpranma ve yıpranma parametreleri (ISO 3685)*

Bunun nedeni asgari kesim kalınlığının büyük olmasının malzemenin daha kolay kesilebileceği ve bu nedenle çok fazla bulanma eğilimi göstermeyeceğidir. Bu da pürüzlülüğü azaltır ve kesim yüzeyinin kalitesini artırır. Kural olarak eğer ilerleme sabit tutulursa daha geniş bir yarıçap, çalışma parçasının üzerinde daha sığ ve daha az telafuz edilen ilerleme işaretlerine yol açacaktır. Kinematik pürüzlülük azalır ve R_a ile R_z, yüzey parametreleriyle ifade edilen çalışma parçası yüzeyinin kalitesi de gelişir. Bu etki, süpürücü geometrisi olan takımlarda kullanılır. Süpürücü burun yarıçapı parçasında takım burnunun arkasında ufak kesim kenarı boyunca ek olarak daha geniş yarıçap bulunur. Konvansiyonel burun yarıçapı olan parçalarla karşılaştırıldığında süpürücü parçalar, aynı ilerlemeyle yada daha yüksek ilerlemelerdeki aynı yüzey kalitesiyle birlikte gelişmiş yüzey sonlandırması sağlayabilir [5].

2.2 Takım aşınması

Talaşlı imalat süreci sırasında takım üzerinde yıpranma işaretleri belirecektir. Takım yıpranmasının kapsamı, takımın maruz kaldığı baskılara bağlı olacaktır. Yıpranma işaretleri, kesici takımın çalışma parçasıyla temas içinde olan büyük ve küçük yanlarında ve çıkarılan talaşla temas içinde olduğu takım yüzünde belirir. Kural olarak yıpranma miktarı ne kadar büyükse takımın geçtiği mekanik ve termal baskı da o kadar büyük olacaktır. Aşırı ısınma kesici takımın sertliğini kaybetmesine ve ani olarak hasar görmesine neden olabilir. Normal takım çeliklerinde 300°C'ye yüksek hız çeliklerinde 600°C'ye çıkıldığında böyle takım ısınma hatalarıyla karşılaşılabilir. Kesici takım bileşenlerinin kaynaşık karbürlü malzemeden yapıldığında takım sıcaklığı 1000°C'ye ulaştığında bile takım sertliği yüksek hız çeliğinden yapılan takım çeliğinin oda sıcaklığındaki sertlik değerinde olacaktır,takım aşınması zımparalanma yapısındadır. Pratik uygulamalarda takım ömrünün değerlendirilme kriteri için kullanılan, öncelikle takımın yanındaki ve yüzündeki yıpranmadır. Takımın yanında gelişen yıpranma, dış yan yıpranma bölgesi (VB) olarak bilinir. Eğer dış yan yıpranma bölgesi VB belirtilen enine ulaşmışsa takımın yıprandığı ve dolayısıyla yararlı hizmet ömrünün sonuna geldiği kabul edilir (Şekil 8). İzin verilen dış yan yıpranma bölgesinin eni, belirli çalışma parçası gerekliliklerine bağlıdır.

Geniş dış yan yıpranma bölgesi VB, kesici kenar SV_γ'nin büyük ölçekli yan-taraf yer değiştirmesiyle sonuçlanarak boyutsal tutarsızlıklara yol açar. Bunun yanısıra takım ile çalışma parçası arasındaki sürtünme teması alanının büyük olması, çalışma parçası yüzeyinin kalitesinde bozulmaya ve kesme sıcaklığında artışa yol açar. Eğer kaynaşık karbür takımları kullanılıyorsa otomatik tezgahta talaşlı işlem yaparken dış yan yıpranma bölgesinin izin verilen maksimum eni 0.2 mm'dir. Eğer metal katkılı karbür takımları kullanılıyorsa kaba talaşlı imalatta dış yan yıpranma bölgesi, yapılan parçanın çapına,



1. Birincil yırtılma bölgesi
2. Takım tarağı yüzündeki ikincil yırtılma bölgesi
3. Durağanlık ve ayrışma bölgesindeki ikincil yıpranma bölgesi
4. Dış yan yüzdeki ikincil yıpranma bölgesi
5. Elastik-plastik biçim bozulması bölgesi

Malzeme: Cu – ETP
Kesim hızı: V_c = 80 m/dak.
Devir başına ilerleme: f = 0,02 mm

Şekil 9: *Talaş oluşumu sırasındaki malzeme biçim bozulması bölgeleri (Kaynak: [6])*

belirtilen toleranslara ve gerekli yüzey kalitesine bağlı olarak 0.4 ile 0.6 mm arasında değişen bir hacmi aşmamalıdır (Şekil 8). 1.0 ile 1.8 mm/devir ve 10-20 mm kesim derinlikleri arasındaki ağır kaba çalışmalar sırasında 1 mm veya daha fazla yıpranma bölgesi limitleri ortaya çıkabilir. Takımın tarağındaki yıpranma (Şekil 8) genellikle dış yandaki yıpranmadan daha az önemlidir ve K = KT/KM krater oranıyla ifade edilir. K, tarak yüzündeki kraterleşmenin sonucunda kesme takımındaki zayıflamanın bir ölçümüdür ve hiçbir zaman K = 0.1 değerinin bir miktar üzerine çıkmamalıdır.

2.3 Talaş oluşumu

Talaş oluşumu ve etkin bir şekilde talaş çıkarılması, kesim bölgesinin alansal olarak sınırlı olduğu delme, raybalama, frezeleme ve diğer otomatik tezgahlardaki diğer torna işlemleri gibi kesim tekniklerinde önemlidir.

Talaş oluşumu sürecinin ayrıntıları en kolaylıkla dikey kesim modeli kullanılarak görülebilir. Dikey modelde talaş oluşumunun kesim kenarına dikey düzlemde, Şekil 9'da fotoğrafla ve şemayla gösterildiği gibi iki boyutlu bir süreç olarak ortaya çıkacağı düşünülür.

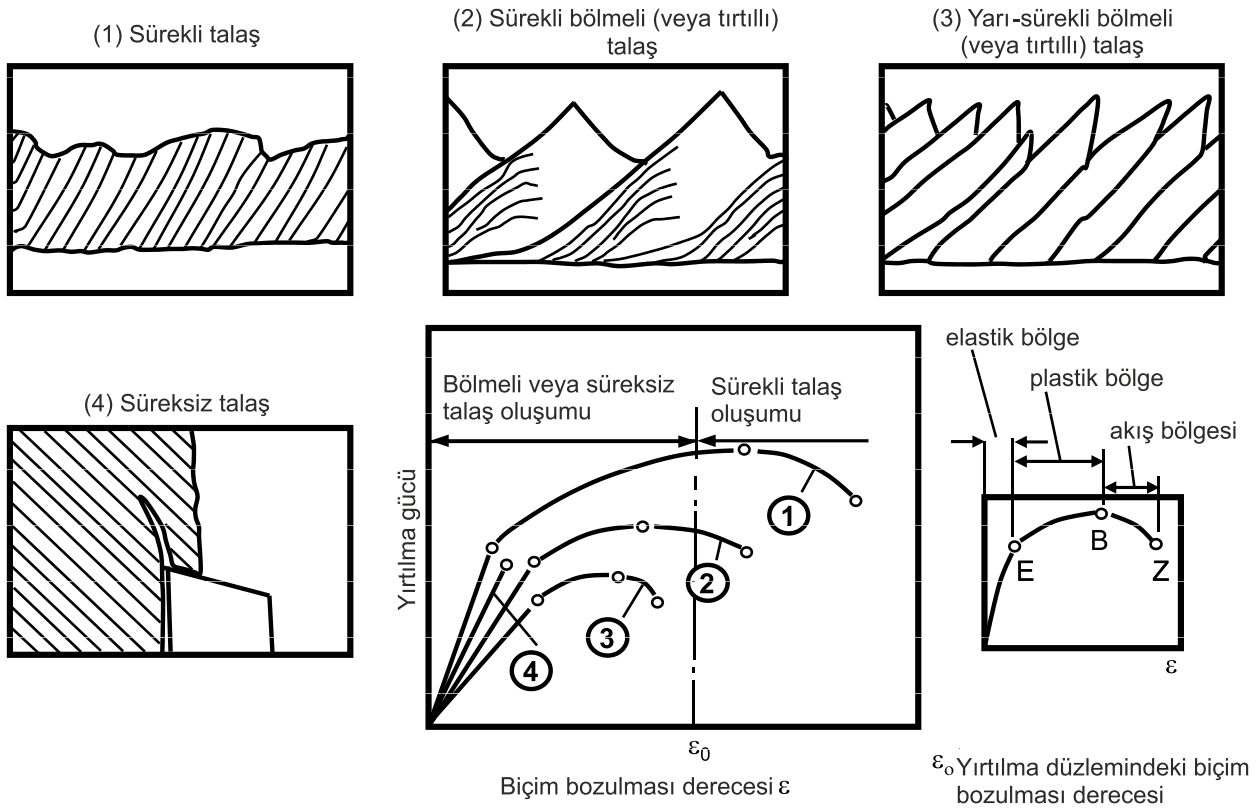
Talaşlı imalat sürecinde kesim takımı, çalışma malzemesine nüfuz ederek önce elastik sonra da plastik olarak biçimde bozulmaya yol açar. Takımın uyguladığı yırtılma baskısı, yırtılma bölgesindeki çalışma malzemesinin yırtılma gücüne ulaştığında yada bunu aştığında malzeme de akmaya başlar. Kullanılan takım geometrisine bağlı olarak biçimi bozulan çalışma malzemesi, kesim takımının yüzü boyunca akan bir talaş oluşturur.

Takımın temas düzlemleriyle talaşın alt tarafı veya yeni çalışma parçası yüzeyi arasındaki sürtünme, ikincil yırtılma bölgelerinde yırtılma baskısı oluşturur (Şekil 9'a bakınız). Bu yırtılma baskıları, ikincil yırtılma bölgelerinde plastik biçim bozulmasına yol açarak talaşı sıkıştırır. Bu biçim bozulmasının sonucu, h_{ch} ayrışmasının ardından talaş kalınlığının h kesiminin ilk kalınlığından daha büyük olması (= biçimi bozulmamış talaşın kalınlığı) ve b_{ch} talaşının eninin b kesiminin ilk eninden daha büyük olmasıdır (= biçimi bozulmamış talaşın eni):

Talaş kalınlığı sıkıştırması: $\frac{h_{ch}}{h} > 1$ (2)

Talaş eni sıkıştırması: $\frac{b_{ch}}{b} > 1$ (3)

Başlıca dört talaş tipi oluşabilir: sürekli talaş, sürekli bölmeli talaş, yarı-sürekli bölmeli talaşlar ve



Şekil 10: *Çalışma parçası malzemesinin mekanik özelliklerinin oluşan talaşı tipi üzerindeki etkisi (Kaynak: [7])*

süreksiz talaşlar (Şekil 10'a bakınız). Kesilen malzeme sürekli olarak talaşlı imalat noktasından uzaklaştığında sürekli talaşlar oluşur. Biçimi bozulmuş malzeme bölgeleri, malzemenin yırtılma gücünü aşmaksızın katmanlı sürgülemeden geçer.

Eğer talaşlı işlemden geçirilen çalışma malzemesi yeterli olukluluğa sahipse, kesim sürecinin harici titreşimlerden zarar görmemesi kaydıyla oluşan talaş biçim olarak sürekli olacaktır.

Eğer çalışma parçası malzemesi daha düşük olukluluğa sahipse, eğer homojen olmayan mikro-yapıya sahipse yada harici titreşimlere tabi tutulmuşsa talaşlı imalat, sürekli bölmeli (veya tırtıllı) talaş oluşmasına yol açacaktır. Sürekli talaşlarla karşılaştırıldığında talaşın üst yüzeyi bu durumda testere dişi benzeri bir yapı gösterir. Sürekli bölmeli (veya tırtıllı) talaşlar yüksek ilerleme oranlarında ve yüksek kesme hızlarında oluşabilir.

Diğer yandan yarı-sürekli bölmeli (veya tırtıllı) talaşlar, yırtılma bölgesinde tamamen ayrıştırılan talaş kısımlarından oluşur. Bu tür talaşlar, yırtılma bölgesindeki biçim bozulmasının derecesi malzemenin olukluluğunu geçtiğinde oluşur. Bu sadece kırılgan malzemeler için değil ama aynı zamanda biçim bozulmasının mikro yapıdaki kırılganlığı desteklediği malzemelerde de oluşur. Yarı sürekli bölmeli talaşlar aynı zamanda aşırı düşük kesim hızlarında da oluşur. Süreksiz talaşlar olağan olarak kırılgan malzemeler, homojen olmayan mikro yapıyla talaşlı imalattan geçirildiğinde oluşur. Bu talaşlar kesilmez fakat çalışma malzemesinin yüzeyinden yırtılarak çalışma parçası yüzeyinin sıklıkla bu küçük talaş parçacıklarıyla hasar görmesiyle sonuçlanır.

Düşük kesim hızlarında Cu-ETP (elektrolitik tok bakır) Cu-DHP(fosforla deokside edilmiş bakır) gibi sünek malzemelerle talaşlı imalat yapılması, takımın kesici kenarında ve tarak yüzünde birikimli kenar (BK) oluşumuna yol açabilir. Birikimli kenar, kesici kenarın etrafına yapışarak kesici kenara düzensiz bir şekil veren ve talaşın takımla doğrudan temas etmesini önleyen çalışma parçası malzemesinin gerinim sertleşmeli katmanlarından oluşur. Uygulanan belirli kesim şartlarına bağlı olarak birikimli kenar periyodik olarak kırılarak takım dış yanıyla çalışma parçası yüzeyi arasında çökelebilir yada talaşla birlikte yer değiştirebilir. Sonuç olarak çalışma parçası yüzeyinin kalitesi bozulur, takım yıpranması artar, talaşlı imalat çalışma parçasının tutarlılığı kötüleşir ve dinamik kesim güçlerinin nispi yüzdesi yükselir.

Birikimli kenarlar oluşması sıcaklığa bağlıdır. Bakır ve daha yüksek bakır içerikli malzemeler talaşlı imalattan geçirildiğinde her zaman v_c kesim hızının belirli bir aralığında ve h kesim kalınlığında (BK) oluşur. (BK) oluşumu aynı zamanda takımın tarak açısına da bağlıdır. Birikim kenarı oluşmasını önlemek için makine operatörü, daha fazla h kalınlığını seçebilir, v_c kesme hızını artırabilir ve/veya γ tarak açısını artırabilir. Eğer bu mümkün olmazsa (BK) oluşumu (örneğin raybalamada, kılavuz açmada) için v_c, alt limitin altına indirilmelidir. İkinci durumda mümkün olan en iyi takım yağlamasını sağlamak suretiyle kesim arayüzündeki sürtünmeyi azaltmak önemlidir.

3 Talaşlı İmalatta Kullanılabilirlik

'Talaşlı imalatta kullanılabilirlik' teriminin tek veya tam bir tanımı yoktur. Bir malzemenin çeşitli talaşlı imalat işlemleriyle veya teknikleriyle talaşlı imalattan geçirilebilme kolaylığı veya zorluğu niteliklerini özetliyor olarak anlaşılabilir. Bir malzemenin talaşlı imalatta kullanılabilirliği, kesici takımın geometrisine ve malzemesine ve de işlem şartlarına bağlı olarak çok güçlü bir biçimde değişiklik gösterebilir. Herhangi talaşlı imalat işleminin başlıca amacı, çalışma parçasının istenen geometride imal edilmesidir. İlgili çok sayıda faktör arasındaki ilişkiler göz önünde bulundurulduğunda talaşlı imalat faaliyetlerini standartlaştırılmış tek bir talaşlı imalat kriterine göre değerlendirmek mümkün değildir.

Bakır ile bakır alaşımlarının talaşlı imalatta kullanılabilirliğini, aşağıdaki dört farklı talaşlı imalatta kullanılabilirlik kriterine göre değerlendireceğiz: takım yıpranması; talaş oluşumu; kesim güçleri ve yüzey kalitesi. Her ne kadar bu dört nitelik karşılıklı olarak birbirine bağımlı olsa da çalışma parçası malzemesinin durumu, kesme işlemi, makine takımının nitelikleri kullanılan kesme takımı ve makine yağlarıyla soğutma sıvılarının rolü gibi faktörlerin ilave etkisi, tek bir belirsiz talaşlı imalatta kullanılabilirlik kriterinin mümkün olmadığı anlamına gelir.

Takım yıpranması ise kesim takımının yüzeyinden kademeli olarak malzeme kaybı olarak anlaşılır. Talaşlı imalat sırasında takım yıpranmasına neden olan süreçler aşınma, yapışma, yüksek sıcaklıklı oksitlenmeden ötürü dökülme, yayılım, termal ve mekanik baskı ve yüzey yorgunluğu.

Talaş oluşumu ve talaş şekli, verimli talaş çıkarılmasının belirlenmesinde, süreç güvenliğinde ve yüksek verimlilikte çok önemli bir rol oynar. Bu özellikle kesim bölgesinin sınırlı büyüklükte olduğu talaşlı imalat işlemleri için doğrudur. Kısıtlı talaş akışı olan talaşlı imalat tekniklerinde, örn. delmede, kılavuz açmada, daldırmalı kesimde, tığ çekmede, yiv açmada ve CNC tezgahlarında yapılan tüm kesim ve şekillendirme işlemlerinde de durum aynıdır. Uzun bant ve tüp bantlarının kesim bölgesinden çıkarılması, kısa spiral talaşlara, talaş kıvrımlarına veya süreksiz talaşlara göre daha da zordur. Bu uzun talaşlar, makine içinde iç içe bilyalar oluşturarak talaşlı imalat sürecinde kesintiye ve çalışma parçası ile takımında hasara yol açabilir. Bunlar aynı zamanda makine operatörü için de güvenlik riskidir. Çoğu durumda bant talaşların ve iç içe talaşların çalışma parçasından veya kesici takımdan elle çıkarılması gerekir ki bu makinenin çalışmamasına ve dolayısıyla verimliliğin düşmesine yol açar. Bant ve sürekli talaşlar, dolaşık ve iç içe talaş oluşturma eğilimi gösterdiğinden bunların oluşumlarından da mümkün olduğu yerde kaçınılmalıdır. Fakat ince iğneli talaşlar da sorunlara yol açabilir çünkü kesme sıvısı filtrelerini bloke edebilir veya makine yuvasının altına kaçarak daha fazla yıpranmaya neden olabilirler.

Metal kesim faaliyetlerinde oluşan güçler, makine takımlarının güç gerekliliklerini ve yapısal esnemezliğini belirler. Bunların takım yıpranması ve dolayısıyla takım ömrü üzerinde ciddi bir etkisi bulunmaktadır. Genel olarak konuşmak gerekirse bir malzeme makine için ne kadar sertse uygulanması gereken güç de o kadar büyük olacaktır. Kesme hızı arttıkça kesim güçleri de hacim yönünden azalma eğilimi gösterir çünkü daha yüksek kesim hızlarında kesim sıcaklığı daha yüksek, kesim sıcaklığı daha büyüktür ve dolayısıyla malzeme gücünde azalma (termal yumuşama olarak adlandırılan süreç) oluşur. Kesim derinliği arttıkça kesim gücü bileşenleri orantısal olarak artar ve her ne kadar daha yüksek ilerleme hızlarında artış oranından daha az bahsedilse de ilerleme hızıyla birlikte artabilir.
Bakır ve bakır alaşımlarıyla talaşlı imalat yapılırken genellikle üst düzey boyut tutarlılığı ve iyi yüzey kalitesi gerekir. Talaşlı imalat çalışma parçası yüzeyinin nihai kalitesi (pürüzlülüğü) çoğu zaman en önemli talaşlı imalat kriteridir.

Yukarıda bahsedilen başlıca dört talaşlı imalat kriterinin nispi ağırlığı, kullanılmakta olan belirli talaşlı imalat işleminin amacına bağlı olacaktır. Örneğin pürüzlü talaşlı imalat çalışmalarında, en ilgili talaşlı imalat kriteri takım aşınmasıdır, onu da kesim güçleri, talaş şekli ve talaş oluşumu izler. İşlerin bitirilmesine yapılan vurgu ise aksine öncelikle nihai yüzeyin kalitesiyle, talaş şekliyle ilgilidir; talaş oluşumu da ikincil rol oynar. Ancak otomatik bir tezgahta talaşla imalat yaparken talaş şekli ve talaş oluşumu, çalışma parçası malzemesinin talaşla imal edilebilirliğinin değerlendirilmesinde kullanılacak tek kriter olabilir.

3.1 Takım ömrü

Takım ömrü T, kesimin başından takımın kullanılamaz hale gelmesine kadar kesim takımının belirli kesim şartları altında önceden belirlenmiş takım ömrü kriterlerine ulaşmak suretiyle talaşla imalat işlemini yapma süresini dakika olarak ifade eder.

Takım ömrü, aşağıdakiler dahil çok sayıda faktöre bağlıdır:

- talaşla imalat yapılacak malzeme,
- takım malzemesi,
- kesim hızı, ilerleme ve kesim derinliği,
- kesici takım geometrisi,
- kesim kenarının kalitesi ('takım sonlandırması'),
- çalışma parçasının, takımın ve talaşlı imalat teçhizatının titreşimleri ve hareket tutarlılığı,
- takım ömrü kriteri yani takım aşınmasının, tipik olarak dış yan bölge VB ile ifade edilen eşik değeri.

Kesim hızı, takım aşınması üzerinde en güçlü etkiye sahiptir. ilerleme hızının takım aşınması ve dolayısıyla da takım ömrü üzerindeki etkisi de anlamlıdır. Kesim derinliği de takım aşınmasını etkiler fakat etkisi nispeten çok düşüktür.

Takım ömrünün kesme hızına bağımlılığı takım ömrü grafiğiyle temsil edilebilir. takım ömrü grafiği ölçümden ölçüme tespittir, kesim hızı verisi v_c (m/dak.) ise apsis ve mukabil takım ömrü T üzerinde (dak. olarak belirtilir) eksende işaretlenir (Şekil 11'e bakınız).

Şekil 11'den görülebileceği gibi konumun büyük bir bölümü üzerinde standart düz çizgi denklemli düz çizgi olarak sonuç eğrisine yaklaşık bir değer verilebilir

$$y = m \cdot x + n \qquad (4)$$

Konum, kayıttan kayda bir temsil olduğu için bu denklem şu hali alır:

$$\log T = \log C_v + k \cdot \log v_c \qquad (5)$$

Algoritmaları alarak tekrar orijinal değişkenlere dönüştürmekle Taylor denklemi ortaya çıkar:

$$T = v_c^{\,k} \cdot C_v \qquad (6)$$

Burada,
T : dakika olarak takım ömrü
v_c : dakika başına metre olarak kesim hızı

k: takım ömrü konumundaki düz çizginin gradyeni (k = tan α)
C_v: birim kesim hızı için takım ömrü T (v_c = 1 m/ dak.)

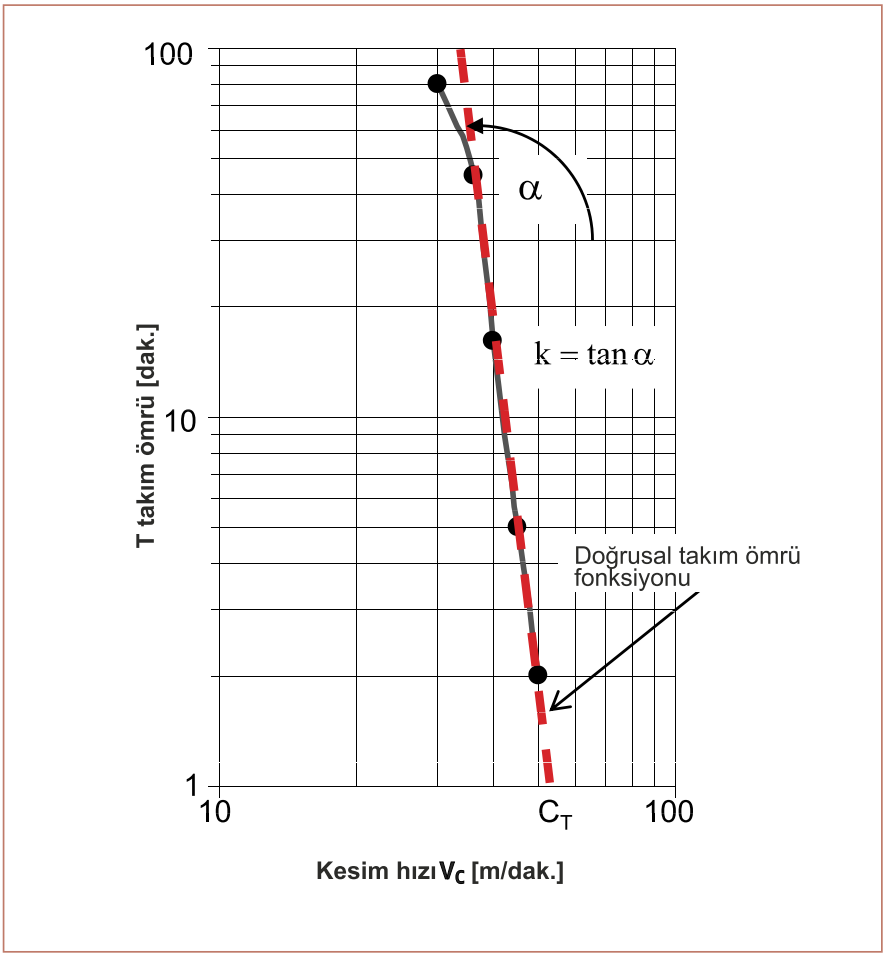
Taylor denklemi aşağıdaki şekilde tekrar düzenlenerek şu sonuç elde edilir:

$$v_c = T^{\frac{1}{k}} \cdot C_T \qquad (6a)$$

Burada

$$C_T = C^{-\frac{1}{k}} \cdot \qquad (7)$$

C_T, C_v ve k kesim şartlarının niteliklerini taşıyan ve çalışma malzemesine, kesim takımı geometrisine ve biçimi bozulmamış (yani kesilmemiş) talaş alanına bağlı olarak değişiklik gösteren, seçilen ilerleme ve kesim derinliğiyle tespit edilen (cf. VDI Kılavuzu 3321) miktarlardır. Takım ömrü eğrisinin eğimini belirleyen k üssü, özellikle pratik uygulamalarla ilgilidir çünkü T takım ömrünün kesim hızı v_c.'nin fonksiyonu olarak nasıl değişiklik gösterdiğini ifade eder. Takım ömrü konumunun gradyanı ne kadar dikse, yani α, eğim açısı ne kadar küçükse takım ömrünün kesme hızına bağımlılığı da o kadar büyük olacaktır. Kesim takımı kenarındaki birikim kenarı oluşumundan ötürü düşük kesim hızlarında, T kaydı ile v_c kaydı arasındaki ilişki artık doğrusal değildir.



Şekil 11: *Taylor takım ömrü diyagramı (kesim hızı karşısında takım ömrünün kayıttan kayda konumu)*

Çoğu pratik uygulama için Taylor denklemi tamamen yeterli olsa da bu kullanımı basit takım ömrü ilişkisi genel bir geçerlilik taşımaz. Örneğin freze işlemleri genelde Taylor denklemiyle yaklaşık değer verilemeyecek takım ömrü ilişkileri ortaya koyma eğilimindedir.

Bu gibi durumları ele almak için takım ömrü değişkenlerini etkileyebilecek diğer değişkenleri göz önünde bulunduran sözkonusu Taylor denklemleri geliştirilmiştir. Bir örnek de ilerleme ve kesim derinliği etkilerini göz önünde bulundurarak değiştirilmiş bulunan genişletilmiş Taylor denklemidir:

$$T = \frac{C_1}{a_p^{\,c_a} \cdot f^{\,c_f} \cdot v_c^{\,-k}} \qquad (8)$$

Burada

T dakika olarak takım ömrü

v_c dakika başına metre olarak kesim hızı

f devir başına mm olarak ikmal

a_p mm cinsinden kesim derinliği

k takım ömrü konumunda düz hat gradyanı (k=tan α)

C_1 boyutlandırılmış, deneysel olarak belirlenmiş sabite

C_a Boyutsuz sabite: kesim derinliği üssü

C_f Boyutsuz sabite: ilerleme üssü

k, C_a ve C_f parametrelerinin büyüklüğü, takım ömrü üzerindeki etkilerinin gücünü yansıtmaktadır;

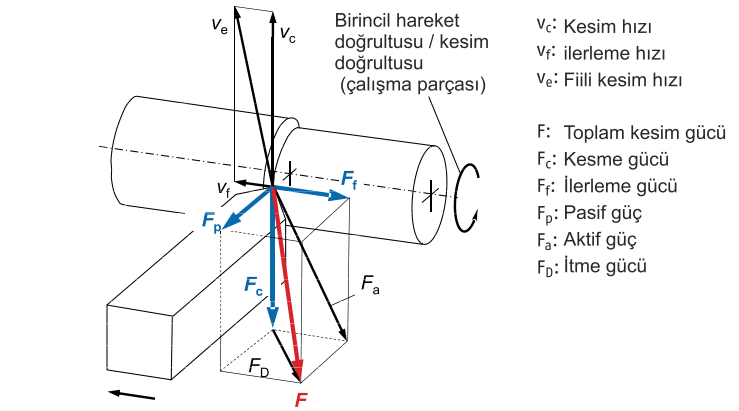
-k üssü nispeten büyüktür; burada C_a ve özellikle de C_f sadece küçük değerler alır. C_1, çalışma parçası malzemesine bağlı olan boyutlu bir sabitedir. C1, çalışma parçası malzemesine, takım malzemesine ve kesim işlemine bağlı olan boyutlu bir sabitedir.

3.2 Kesici güç

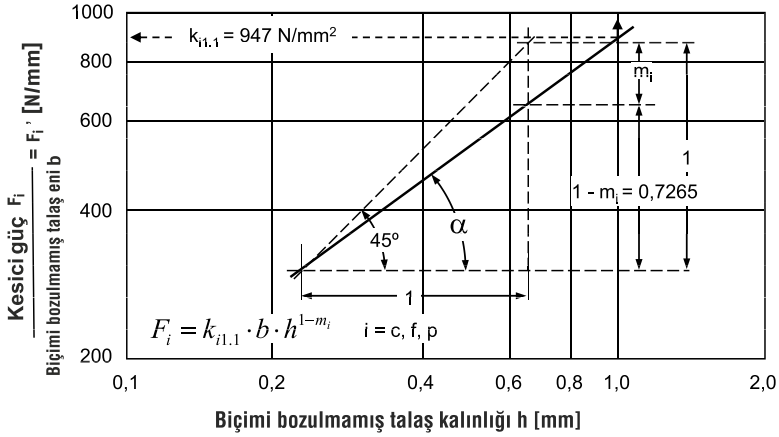
Takımın kesici kenarında oluşan kesici güç, bir malzemenin talaşlı tezgahta işlenebilirliğini nitelemek için kullanılan ileri bir parametredir. Hareket eden kesici güçlerin anlaşılması makine takımlarının, kesici takımların ve takım tutucular ile çalışma parçası tutucuların tasarımının anlaşılmasında çok temeldir. Kesme kuvvetinin bilinmesi talaşlı imalat işlerinin mevcut üretim makineleri arasında esnek dağıtılmasına imkan verir. Tahrik gücü gerekliliklerini belirlemek yada bir takım tutuş sistemini boyutlandırmak için beklenen kesici güçlerin kaba bir tahminini yapmak genelde yeterlidir.

Şekil 12'de gösterildiği gibi toplam kesici güç F, üç bileşenle çözümlenebilir: F_c kesici gücü, F_f ilerleme gücü ve pasif güç (veya geri güç) F_p. Güç bileşenlerini tanımlamak için kullanılan semboller, DIN 6584 standardında bulunanlardır. Gerekli tahrik gücü, öncelikle F_c kesici gücüyle tespit edilir. Kienzle ve Victor'a göre F_c kesici gücü aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$F_c = k_{c1.1} \cdot b \cdot h^{(1-m_c)} \qquad (9)$$



Şekil 12: *Bileşen güçlere ayrılmış toplam kesici güç (DIN 6584)*



Şekil 13: *i = c, f veya p ile birlikte $k_{i1.1}$ ve $(1-m_c)$ parametrelerinin grafiksel tespiti [8]*

burada:

F_c	N olarak kesici güç
b	mm olarak talaş eni
h	mm cinsinden biçimi bozulmamış talaş
m_c	Belirli kesici gücün artışını yansıtan boyutsuz endeks
$1-m_c$	log-log konumunda düz çizginin $F_c' = f(h)$ gradyanı
$k_{c1.1}$	b = h = 1 mm için N/mm² olarak belirli kesiş gücü

$h^{(1-m_c)}$ terimi mm olarak ifade edilir. Diğer iki güç bileşeni F_f ve F_p için mukabil denklemler tanımlanabilir.

Belirli $k_{c1.1}$ kesici gücün grafiksel ataması yada m_c veya $(1-m_c)$ malzeme bağımlı faktörleri Şekil 13'te gösterilmektedir ve literatürde ayrıntıyla ortaya konulmuştur [8, 9, 10]. Yukarıda verilen kesici güç ifadeleri sadece sınırlı dizide parametreler kullanmaktadır. Tarak açısı γ, kesici hızı v_c, takım yıpranması ve çalışma parçası şekli gibi kesici gücü etkileyen diğer faktörler, basit tutmak gerekçesiyle hariç tutulmuştur. Victor-Kienzle denklemlerinin, bu ilave parametrelerin düzeltme faktörleri olarak dahil edildiği geniş versiyonlar da mevcuttur.

Karbür takımları kullanılarak yapılan torna işlemlerinde biçimi bozulmamış ve belirli kesici güç üzerinde pratik etkisi olan h talaş kalınlığına ilave parametreler γ, tarak açısı, a eğilim açısı ve takım λ_s yıpranması derecesidir. Genellikle karşılaşılan durum γ tarak açısı arttıkça yani daha pozitif hale geldikçe özel kesici güç k_c 'nın açıdaki her bir derece için % 1.5 azalmasıdır. Bu bildirim, başlangıçta ölçülen tarak açısının ±%10'u itibarıyla açılar aralığı için geçerlidir. Takım yıpranması daha anlamlı bir rol oynamaktadır. Ancak kesici gücün büyüklüğünü etkileyen çok sayıda faktör göz önünde bulundurulduğunda kademeli takım yıpranması olan kesici güçteki artışla ilgili olarak sadece yaklaşık, yarı-niceliksel bildirimler yapmak

Talaşlı İmalata Elverişlilik grubu	Malzeme			Özel kesici gücün başlıca değeri $k_{c1.1}$ [N/mm²]	Gradyan $1-m_c$	Deneysel şartlar notları (bkz. Tablo 2)
	Sembol	EN numarası	UNS numarası			
I	CuSP	CW114C	C14700	820	0,93	1)
	CuTeP	CW118C	C14500	910	0,88	1)
	CuTeP	CW118C	C14500	544	0,7755	8)
	CuZn35Pb2	CW601N	C34200	835	0,85	4)
	CuZn39Pb3	CW614N	C38500	450	0,68	1)
	CuZn39Pb3	CW614N	C38500	389	0,69	8)
	CuZn40Pb2	CW617N	C37700	500	0,68	1)
	CuSn4Zn4Pb4	CW456K	C54400	758	0,91	8)
	CuSn5Zn5Pb5-C	CC491K	C83600	756	0,86	6)
	CuSn7Zn4Pb7-C	CC493K	C93200	1400	0,76	7)
	CuSn5Zn5Pb2-C	CC499K	–	756	0,86	6)
	CuSn5Zn5Pb2-C	CC499K	–	724	0,82	8)
	CuNi7Zn39Pb3Mn2	CW400J	–	459	0,70	8)
II	CuNi18Zn19Pb1	CW408J	C76300	1120	0,94	1)
	CuZn35Ni3Mn2AlPb	CW710R	–	1030	0,82	1)
	CuZn37Mn3Al2PbSi	CW713R	–	470	0,53	3)
	CuZn38Mn1Al	CW716R	–	422	0,62	5)
	CuAl10Fe5Ni5-C	CC333G	C95500	1065	0,71	6)
	CuSn12Ni2-C	CC484K	C91700	940	0,71	6)
	CuZn33Pb2-C	CC750S	–	470	0,53	3)
	CuZn40	CW509L	C28000	802	0,80	8)
	CuAg0,10	CW013A	C11600	1100	0,61	2)
	CuNi1Pb1P	–	C19160	696	0,8095	8)
III	CuNi2Si	CW111C	C64700	1120	0,81	1)
	CuAl8Fe3	CW303G	C61400	970	0,82	1)
	CuAl10Ni5Fe4	CW307G	C63000	1300	0,88	1)
	CuSn8	CW453K	C52100	1180	0,90	1)
	CuSn8P	CW459K	–	1131	0,88	8)
	CuZn37	CW508L	C27400	1180	0,85	1)
	CuZn20Al2As	CW702R	C68700	470	0,53	3)
	CuMn20	–	–	1090	0,81	8)

Aşağıdaki tablolarda sayılan işlenmiş alaşımların mekanik özellikleri, (EN 12164, EN 12163, EN 13601 ve EN 12166'da tanımlandığı şekliyle) sadece dingil ve çubuklarla, (EN 1652 ve EN 1654'te olduğu gibi) şeritle ve (EN 12449'da olduğu gibi) tüplerle ilgilidir. Dökme alaşımların değerleri EN 1982'den alınmıştır. Alaşım gruplarının sunulduğu sıra CEN/TS 13388'e göredir.

Tablo 1: *Bakır ve bakır alaşımları için $k_{c1.1}$ özel kesici güçleri ve $1-m_c$ gradyan faktörleri. (Not: veriler muhtelif kaynaklardan alınmıştır.)*

mümkündür. 0.5 mm dış yan yıpranma alanının (VB) kesici gücün %20 civarında, ilerleme gücünün %90 civarında ve pasif gücün de yaklaşık %100 civarında artacağını belirttiği tahmin edilmektedir.

Kesici güç Fc, Denklem 9 ve Tablo 1'de sayılan $k_{c1.1}$ değerleri kullanılarak hesaplanabilir. Eğer bir malzeme Tablo 1'de sayılmamışsa genellikle kaba hesaplamalar için $k_{c1.1}$ değerlerinin sayılan değerlerin karşılaştırılabilir malzemeye uyarlanması suretiyle hesaplanması kabul edilebilir.

Tablo 2, deneysel şartlar hakkında bilgiler içermektedir.

Tablo 3, biçimi bozulmamış talaş kalınlığı h ile ilişkili olarak özel kesici güçlerin listesini sunmaktadır.

Tablodaki veriler muhtelif kaynaklardan alınmıştır ve farklı test şartlarını kapsamaktadır.

Bazı durumlarda diğer iki güç bileşeni, F_f ilerleme gücü ve F_p pasif gücü (Şekil 12) de ilgi çekebilir.

Son iki güç, F_c kesici gücüne göre çok daha küçüktür. F_p pasif gücü, makine gücüyle temin edilmesi gereken herhangi bir çalışma yapmaz çünkü hareketin iki ana doğrultusuna (birincil hareket doğrultusu ve ilerleme doğrultusu) dikeydir.

F_f ilerleme gücünün F_c kesici gücüne oranı, takım kesici kenarı açısı κ_r'ya bağlıdır. r_ε burun yarıçapının etkisi göz ardı edilebilir, κ_r =90°'lik bir takım kesici kenarı açısı, F_f ilerleme gücünün F_c 'nin %30'undan biraz daha fazla olacağı anlamına gelir.

Bakır malzemeler talaşlı imalattan geçirilirken hareket eden güçler genelde çok düşük olduğu için yaklaşık hesaplamaların çoğu için aşağıdaki ilişki geçerlidir:

$$F_f \approx 0{,}3\ F_c \quad (10)$$

Sinterlenmiş karbür takımların v_c =200 m/dak. veya daha fazla tipik kesim hızlarında tornadan geçirirken çoğu yaklaşık analiz için F_p 'nin F_f ile aynı kaba büyüklükte olduğunu varsaymak yeterlidir.

No.	Talaşlı imalat	Takım malzemesi	İlerleme aralığı veya biçimi bozulmamış talaş kalınlığı f veya h [mm]	Kesim derinliği veya biçimi bozulmamış talaş eni a_p [mm] veya b	Kesim Hızı v_c [m/dak.]	Kesici takım geometrisi		Notlar	Kaynak
						Talaşlı imalat grubu	α-γ-λ-ε-κ; r [derece; mm]		
1	Silindirik torna	HM-K 10	f = 0,05-0,315	a_p = 2,5	180	I II III	6-0-0-ε-90/75/45; 0,5 8-5-0-ε-90/75/45; 0,5 10-20-0-ε-90/75/45; 0,5	Kuru kesim	[7]
2	Silindirik torna	HSS (M2-AISI)	h = 0,05-0,28	a_p = 2,54	15-90	–	α-20-λ-ε-90; r	Kuru kesim	[11]
3	Torna	SS u. HM	f = 0,1-0,8	a_p :f= 2:1 bis 10:1	-	I u. II SS HM III SS HM	8-0-0/8-90-45; 0,5/2 5-6-0/8-90-45; 0,5/2 8-14/18-0/8-90-45; 0,5/2	Kuru kesim	[12]
4	Silindirik torna	HM	h = 0,04-0,6	a_p = 2,5	200	–	5-15-λ-ε-90; r	Kuru kesim	[13]
5	Testere kesim	HSS	f = 0,08-0,6	a_p = 8-9 b = 4-12	40	–	5-10-0-90-90; r	-	[14]
6	Silindirik torna	HM-K 10	f = 0,08-0,32	a_p = 2,5	200	–	5-6-0-90-70; 0,4	Kuru kesim	[15]
7	Silindirik torna	HSS u. HM	f = 0,1-0,6	a_p = 1 u. 2	32	HSS HM	8-0-0/8-90-45; 0,5/2 5-6-0/8-90-45; 0,5/2	Kuru kesim	[16]
8	Silindirik torna	HM	f = 0,05-0,14	a_p = 1	200	HM	8-10-0-84-96; 0,4	Yağ	DKI

Tablo 2: *Tablo 1'de sayılan belirli kesim güçleriyle ilişkili deneysel şartlar hakkında bilgi*

$F_p \approx F_f \approx 0{,}3\ F_c$ (11)

Çalışma parçası kelepçeleri, takım tutucuları, v.s. boyutlandırması yapılırken bu güçlerin büyüklüğü ilgi çekse de kesim işlemini gerçekleştiren makine takımının güç gerekliliklerini tespit etmek için kesici gücün yaklaşık bir hesaplamasını yaparak makine verimliliğinin de göz önünde bulundurulması önemlidir.

DIN 6584 standardına göre verimli kesici güç, P_e verimli kesim gücünün ve v_e nihai kesim hızının ürünüdür ve aynı zamanda P_c kesici gücüyle P_f ilerleme gücünün toplamıdır.

$P_e = F_e \cdot v_e = P_c + P_f$ (12)

$P_c = F_c \cdot v_c$ (13)

$P_f = F_f \cdot v_f$ (14)

Takım ilerleme hızı ('ilerleme oranı') kesim hızına göre genelde çok daha düşük olduğundan ve ilerleme gücü de kesim gücüne göre çok daha düşük olduğundan genel kesici gücün çoğu yaklaşık hesaplamasında ilerleme gücü ihmal edilebilir. Dolayısıyla net makine gücü aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$P_e' = \frac{F_c \cdot v_c}{60000} \quad (15)$$

burada,

$P_{e'}$ kW olarak net makine gücü

F_c N olarak kesim gücü

v_c m/dak. olarak kesim hızı

60000 (N * m)/(kW * dak.) olarak çevrim faktörü

Çoklu aktif kesim kenarlı kesim takımları, tek noktalı takımlara göre genelde daha küçük ve biçimi bozulmamış h talaş kalınlıklarında işler. Çok noktalı takımlarla çalışırken gereken net makine gücü, cm^3/dak. olarak V_w stok kaldırma oranından (yani birim zaman başına kaldırılan çalışma parçası malzemesi hacmi) ve cm^3 / (dak. * kW) olarak V_{wp} belirli bir stok kaldırma oranından (yani birim zaman başına ve tedarik edilen güç birimi başına kaldırılan çalışma parçası malzemesinin hacmi) hesaplanabilir.

Çok noktalı takımlar için aşağıdaki ilişki geçerlidir:

$$P_e' = \frac{V_w}{V_{wp}} \quad (16)$$

$P_{e'}$ kW olarak net makine gücü

V_w Stok giderme oranı (cm^3 /dak. olarak birim zaman başına kaldırılan çalışma parçası hacmi)

V_{wp} Özel stok giderme oranı (birim zaman ve cm^3 /(dak.*kW) olarak tedarik edilen güç birimi başına kaldırılan çalışma parçası malzemesi hacmi)

V_{wp} özel stok kaldırma oranı, aşağıdaki türevin gösterdiği gibi özel kesim gücüyle doğrudan orantılıdır:

$$V_{wp} = \frac{V_w}{P_c} = \frac{A \cdot v_c}{F_c \cdot v_c} = \frac{A \cdot v_c}{k_c \cdot A \cdot v_c} = \frac{1}{k_c} \quad (17)$$

Malzeme			Biçimi bozulmamış talaş kalınlığı h [mm]														Deney-sel şartlar hakkın-da notlar Tablo 2
Sembol	Sembol (EN)	Sembol (UNS)	0,08	0,1	0,125	0,16	0,20	0,25	0,315	0,4	0,5	0,63	0,8	1,0	1,25	1,6	
Talaşlı imalata elverişlilik grubu I / Tip I alaşımları																	
CuSP	CW114C	C14700	979	963	948	932	918	904	889	874	861	847	833	820	807	793	1)
CuTeP	CW118C	C14500	1232	1200	1168	1134	1104	1075	1045	1016	989	962	935	910	886	860	1)
CuZn35Pb2	CW601N	C34200	1349	1293	1240	1183	1134	1087	1040	994	953	912	871	835	800	764	4)
CuZn39Pb3	CW614N	C38500	1010	940	875	809	753	701	651	603	562	522	483	450	419	387	1)
CuZn40Pb2	CW617N	C37700	1122	1045	973	899	837	779	724	670	624	580	537	500	466	430	1)
CuSn5Zn5Pb5-C*)	CC491K	C83600	1114	1065	1019	969	927	887	847	807	772	737	703	672	643	612	7)
CuSn7Zn4Pb7-C	CC493K	C93200	2567	2433	2307	2173	2060	1953	1847	1744	1653	1564	1477	1400	1327	1251	7)
CuSn5Zn5Pb2-C	CC499K	C92220	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Talaşlı imalata elverişlilik grubu II / Tip II alaşımları																	
CuNi18Zn19Pb1	CW408J	C76300	1303	1286	1269	1250	1234	1217	1200	1183	1168	1151	1135	1120	1105	1089	1)
CuZn35Ni3Mn2AlPb	CW710R	–	1623	1559	1498	1433	1376	1322	1268	1215	1167	1119	1072	1030	989	946	1)
CuZn37Mn3Al2PbSi	CW713R	–	1542	1432	1330	1227	1140	1059	981	907	842	780	721	670	622	574	3)
CuZn38Mn1Al	CW716R	–	1102	1012	930	847	778	715	655	598	549	503	459	422	388	353	5)
CuAl10Fe5Ni5-C	CC333G	–	2215	2077	1946	1812	1698	1592	1489	1389	1302	1218	1136	1065	998	929	6)
CuSn12Ni2-C	CC484K	C95500	1955	1833	1718	1599	1499	1405	1314	1226	1149	1075	1003	940	881	820	6)
CuZn33Pb2-C	CC750S	C91700	1540	1387	1249	1112	1001	902	809	723	651	584	522	470	423	377	3)
Talaşlı imalata elverişlilik grubu III / Tip III alaşımları																	
CuAg0,10	CW013A	C11600	2946	2700	2475	2248	2061	1889	1726	1573	1441	1317	1200	1100	1008	916	2)
CuNi2Si	CW111C	C64700	1810	1735	1663	1586	1521	1458	1395	1333	1278	1223	1169	1120	1074	1024	1)
CuAl8Fe3	CW303G	C61400	1528	1468	1410	1349	1296	1245	1194	1144	1099	1054	1010	970	932	891	1)
CuAl10Ni5Fe4	CW307G	C63000	1760	1714	1668	1620	1577	1535	1493	1451	1413	1374	1335	1300	1266	1229	1)
CuSn8	CW453K	C52100	1519	1486	1453	1417	1386	1355	1325	1293	1265	1236	1207	1180	1154	1126	1)
CuZn37	CW508L	C27400	1907	1828	1752	1671	1602	1536	1470	1404	1346	1288	1231	1180	1131	1079	1)
CuZn20Al2As	CW702R	C68700	1540	1387	1249	1112	1001	902	809	723	651	584	522	470	423	377	3)

*) Düşük değer, testlerde kullanılan düşük kesim hızlarıyla (v_c = 32 m/dak.) ile açıklanabilir.

Tablo 3: Tablo 1'de sayılan malzemeler için biçimi bozulmamış mm cinsinden h talaş kalınlığının fonksiyonu k_c olarak N/mm^2 cinsinden özel kesim gücü. (Not: veriler muhtelif kaynaklardan elde edilmiştir.) Kullanılan deneysel şartlardaki farklılıklardan ötürü farklı kaynaklardan elde edilen verilerin doğrudan karşılaştırılamayacağını lütfen not ediniz.

cm^3 / (dak. * kW) birimine çevrimiyle şu sonuç elde edilir:

$$V_{wp} = \frac{V_w}{P_c} = \frac{60000}{k_c} \quad (18)$$

V_{wp} cm^3 /(dak.*kW) olarak özel stok kaldırma oranı
V_w cm^3/dak. olarak stok kaldırma oranı
P_c kW olarak kesim gücü
k_c N/mm^2 olarak özel kesim gücü
60000: cm^3*N/mm^2*dak.*kW) (=N.M.dak.(kW*dak.)) olarak çevrim faktörü

Tablo 4, Tablo 1'de listelenen biçimi bozulmamış h kalınlıklarındaki 0.08 ile 0.315 aralığında bulunan ve çoklu nokta takımlarıyla talaşlı imalattan geçirildiğinde tipik olan malzemelerin V_{wp} değerlerini sunmaktadır

3.3 Yüzey kalitesi

Diğer malzemelerle olduğu gibi bakır ve bakır alaşımlarının sonlandırılmasıyla da genellikle önceden tanımlanmış kalitede talaşlı imalat çalışma parçası yüzeyi elde edilmelidir, yani yüzeyin pürüzlülüğü belli bir düzeyi geçmemelidir. Serbest kesim pirinç malzemeden parçalar tornada işlenirken çoğu zaman dekoratif bir yüzey istenir ve bununiçin sıklıkla parçanın pürüssüzleştirme ve hassas perdahlama işlemlerinden geçirilmesi gerekir. Elde edilebilen yüzey kalitesi de bu nedenle CuZn39Pb3, CuZn39Pb2, CuZn40Pb2, CuZn30Pb3, CuNi18Zn19Pb1, CuTeP, CuPb1P ve CuSP gibi serbest kesim alaşımlarının talaşlı imalata elverişliliğini değerlendirirken en önemli talaşlı imalata elverişlilik kriteri olarak görülür.

Malzeme			Biçimi bozulmamış h talaş kalınlığı [mm]							Deneysel şartlar hakkında notlar Tablo2
Sembol	Sembol (EN)	Sembol (UNS)	0,08	0,1	0,125	0,16	0,20	0,25	0,315	
Talaşlı imalata elverişlilik grubu I / Tip I alaşımları										
CuSP	CW114C	C14700	61,3	62,3	63,3	64,4	65,4	66,4	67,5	1)
CuTeP	CW118C	C14500	48,7	50,0	51,4	52,9	54,4	55,8	57,4	1)
CuZn35Pb2	CW601N	C34200	44,5	46,4	48,4	50,7	52,9	55,2	57,7	4)
CuZn39Pb3	CW614N	C38500	59,4	63,8	68,6	74,2	79,7	85,6	92,2	1)
CuZn40Pb2	CW617N	C37700	53,5	57,4	61,7	66,7	71,7	77,0	82,9	1)
CuSn5Zn5Pb5-C *)	CC491K	C83600	20,5	21,7	23,0	24,5	26,0	27,5	29,2	7)
CuSn7Zn4Pb7-C	CC493K	C93200	23,4	24,7	26,0	27,6	29,1	30,7	32,5	7)
CuSn5Zn5Pb2-C	CC499K	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Talaşlı imalata elverişlilik grubu II / Type II alaşımları										
CuNi18Zn19Pb1	CW408J	C76300	46,1	46,7	47,3	48,0	48,6	49,3	48,2	1)
CuZn35Ni3Mn2AlPb	CW710R	–	37,0	38,5	40,1	41,9	43,6	45,4	47,3	1)
CuZn37Mn3Al2PbSi	CW713R	–	65,9	71,9	78,4	86,3	94,2	102,7	112,4	3)
CuZn38Mn1Al	CW716R	–	54,5	59,3	65,4	70,8	77,1	83,9	91,6	5)
CuAl10Fe5Ni5-C	CC333G	–	27,1	28,9	30,8	33,1	35,3	37,7	40,3	6)
CuSn12Ni2-C	CC484K	C95500	30,7	32,7	34,9	37,5	40,0	42,7	45,7	6)
CuZn33Pb2-C	CC750S	C91700	39,0	43,3	48,0	54,0	59,9	66,5	74,2	3)
Talaşlı imalata elverişlilik grubu III / Tip III alaşımları										
CuAg0,10	CW013A	C11600	20,3	22,2	24,2	26,7	29,1	31,8	34,8	2)
CuNi2Si	CW111C	C64700	33,2	34,6	36,1	37,8	39,5	41,2	43,0	1)
CuAl8Fe3	CW303G	C61400	39,3	40,9	42,6	44,5	46,3	48,2	50,3	1)
CuAl10Ni5Fe4	CW307G	C63000	34,1	34,5	36,0	37,0	38,1	39,1	40,2	1)
CuSn8	CW453K	C52100	39,5	40,4	41,3	42,3	43,3	44,3	45,3	1)
CuZn37	CW508L	C27400	31,5	32,8	34,3	35,9	37,5	39,1	40,8	1)
CuZn20Al2As	CW702R	C68700	39,0	43,3	48,0	54,0	59,9	66,5	74,2	3)

*) Değerdeki düşüklük, testlerde düşük kesim hızları kullanılmasıyla (v_c =32m/dak.) açıklanabilir.
Tablo 4: Tablo 1'de sayılan malzemeler için mm cinsinden biçimi bozulmamış h talaş kalınlığının fonksiyonu olarak cm^3 /(dak.*kW) cinsinden özel stok kaldırma oranı. V_{wp} (= 32 m/dak.) açıklanabilir.

Genellikle µm cinsinden ölçülen yüzey pürüzlülüğü, olağan olarak talaşlı imalattan geçirilmiş yüzeyin kalitesini niceliksel olarak değerlendirmek için kullanılan niteliktir. Genellikle ilerleme hareketi doğrultusunda ölçülen çapraz pürüzlülük (kinematik pürüzlülük) genellikle birincil hareket doğrultusunda ölçülen boylamsal pürüzlülükten (kesim yüzeyi pürüzlülüğü) daha büyüktür ve dolayısıyla ilgi çeker. Kinematik pürüzlülük, takımın burun yarıçapı ve takım ile çalışma parçasının nispi hareketiyle ölçülür.

Teorik olarak torna gibi tek bir nokta işlemiyle elde edilebilecek olan zirveden-vadiye $R_{t,th}$ pürüzlülüğü aşağıdaki denklemle f ilerlemesinden ve r_ε burun yarıçapından (Şekil 14) hesaplanabilir:

$$R_{t,th} = r_\varepsilon - \sqrt{r_\varepsilon^2 - \frac{f^2}{4}} \qquad (19)$$

Bu ifade, Taylor serisi genişletilerek basitleştirilebilir ve bu da aşağıdaki yaklaşık değeri verir:

$$R_{t,th} \approx \frac{f^2}{8 \cdot r_\varepsilon} \qquad (20)$$

Gerekli zirveden vadiye talaşlı imalat işlemlerinin çoğunda yüzey pürüzlülüğü çoğunlukla belirtilir, öyle ki belirli bir burun yarıçapının gerekli ilerlemesini hesaplamak için Denklem 20 kullanılabilir. Yukarıdaki denklem, aşağıdaki sonucu verecek şekilde yeniden düzenlenebilir:

$$f \approx \sqrt{8 \cdot r_\varepsilon \cdot R_{t,th}} \qquad (21)$$

Belirli bir r yarıçapında kesim takımı kullanmak suretiyle belirli bir zirveden-vadiye Rt pürüzlülüğü çıkarmak

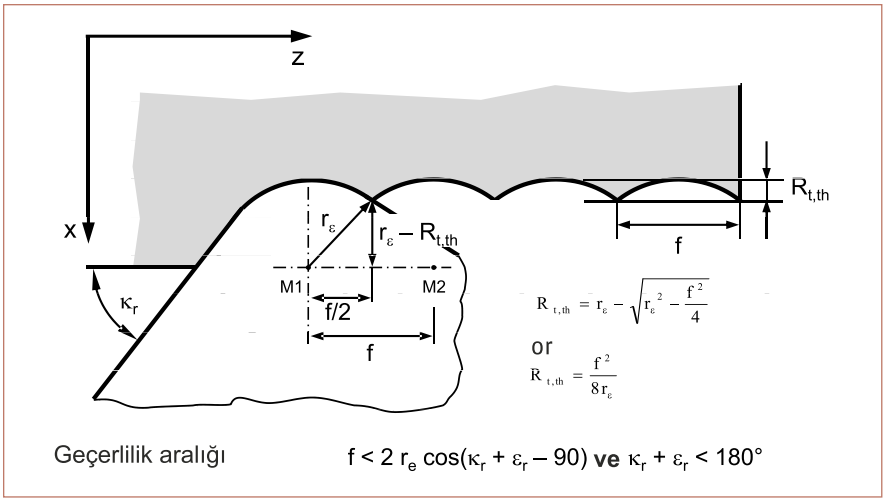
için teorik olarak gereken f ilerlemesi, Tablo 5'e başvurmak suretiyle bulunabilir. Eğer teorik olarak gereken ilerleme tezgahta ayarlanamıyorsa bir sonraki ilerleme ayarlaması seçilmelidir.

Ancak pratik uygulamalarda elde edilen zirveden-vadiye pürüzlülüğü genellikle teorik değere göre ciddi ölçüde sapma gösterir. Bu da aşağıdaki üç ana nedene kadar geri takip edilebilir:

- Özellikle küçük ilerlemelerle ($f < 0.1$ mm/dev), gerçekleştirildiğinde nihai talaşlı imalat, ufak kesim kenarının ve burun yarıçapının etrafında yıpranma yivlerinin oluşmasına yol açarak talaşlı imalat yüzeyinin teorik profilinden sapmalara yol açabilir.

- Daha yüksek ikmallerde ($f > 0.1$ mm/dev), dış yan yıpranmasının özellikle burun yarıçapında sürekli büyümesi talaşlı imalat yüzeyinin kalitesinde bozulmaya yol açar

- Daha önce Bölüm 2.3'te işlendiği gibi birikim kenarı (BK) oluşumunun muhtemel olduğu birtakım kesim hızları bulunmaktadır. Periyodik (BK) kırılması ve bu (BK) parçalarının yer değiştirmesi, talaşlı imalat yüzeyinde genellikle önemli bozulmaya yol açar. Ağır biçimde gergin çalışma parçası malzemeleri geçici olarak kesici kenarda çökelerek kesici kenara düzensiz bir şekil verdiğinde birikimli kenarlar oluşur. (BK) periyodik olarak



Şekil 14: *Torna işlemi sırasındaki geometrik ilişkiler*

kırıldığında (BK) parçacıkları talaşa veya talaşlı imalat çalışma parçası yüzeyine kaynak edilebilir. Çalışma parçası yüzeyinin ulaşılabilecek çapraz pürüzlülüğü aynı zamanda takım açılarına, özellikle de tarak açısına bağlıdır. Tarak açısının artırılması, yüzey kalitesini de geliştirir. Diğer malzemelerle karşılaştırıldığında bakır ve bakır alaşımlarını talaşlı imalatla işlemden geçirirken teorik olarak elde edilebilecek değer daha yakın bir yaklaşık değer olarak ulaşılabilir. Ancak tarak açısının artırılması, kama açısını düşürür ve dolayısıyla takım ömrünü de azaltır. Diğer metallerde olduğu gibi bakır ve bakır alaşımlarının yüksek kesim hızlarında talaşlı imalattan geçirilmesi, daha düşük hızlarda yapılan talaşlı imalata göre daha iyi bir yüzey kalitesi sağlar. İnce tanecikli malzemelerle işlem yaparken (19), (20) ve (21) ifadeleri yararlı yaklaşık değerlerdir; daha kabaca öğütülmüş malzeme için fiili zirveden vadiye pürüzlülük R_t, hesaplanan değerden ciddi ölçüde daha büyüktür [17, 18]. Belirlenmiş bir geometrideki kesim takımıyla talaşlı imalat yaparken (yani taşlama, katlama, perdahlama, v.s. gibi işlemler hariç) çalışma malzemesinin tanecik büyüklüğü, uygulamada elde edilebilecek yüzey pürüzlülüğünün en düşük derecesini temsil eder. Çalışma yüzeyi sonlandırması kalitesine yüksek talep olduğunda elmas uçlu takımların yüksek kesim hızlarında ve düşük ilerlemelerde kullanılması tavsiye edilir. Böyle bir yapılandırma, ayna yüzeyi sonlandırmaları sağlayabilir. Çok noktalı takımlarla talaşlı imalat yaparken (örneğin frezeleme işlemleri) yüzeyin zirveden-vadiye R_t yüksekliğinde 'dalgalılık' olarak bilinen bir biçim hatası oluşabilir. 'Dalga boyu', devir başına ilerlemeye karşılık gelir, büyüklük ise eğer 10 µm'den büyükse takım tükenme hatasını yansıtır.

Burun yarıçapı r_ε [mm]	mm/dev. olarak f ilerlemesi = f (R_{th},r_ε)					
	İnce sonlandırma		Sonlandırma		Kaba kesim	
	▽▽▽		▽▽		▽	
	$R_{t,th}$ 4 µm	$R_{t,th}$ 6,3 µm	$R_{t,th}$ 16 µm	$R_{t,th}$ 25 µm	$R_{t,th}$ 63 µm	$R_{t,th}$ 100 µm
0,5	0,13	0,16	0,26	0,32	0,50	063
1,0	0,18	0,22	0,36	0,45	0,71	0,89
1,5	0,22	0,27	0,44	0,55	0,87	1,10
2,0	0,25	0,31	0,50	0,63	1,00	1,26
3,0	0,31	0,38	0,62	0,77	1,22	1,55

Tablo 5: *$R_{t,th}$ ile r_ε burun yarıçapının gerekli teorik pürüzlülüğünün bir fonksiyonu olarak mm/dev. cinsinden ilerleme*

'Etkin küçük kesim kenarı' endekslenebilir dişli parçalı freze kesici kullanılarak yüz frezeleme işlemlerindeki yüzey kalitesi geliştirilebilir, yani pahlı kenar çalışma parçası $\kappa_r = 0°$ kesici kenar açısıyla çalışma parçası yüzeyine paralel uzanacak şekilde parçaların ufak kesim kenarında pahları bulunur. Ufak kesim kenarındaki pah, birkaç milimetre uzunluğa kadar çıkabilir. Diş başına ilerleme aktif pah uzunluğunun $^2/_3$'ünü geçmemelidir. Eğer ufak kesim kenarı devir başına ilerlemeden daha genişse üst üste örtüşme, kaçınılmaz salgı problemini azaltır ve işlenmiş yüzey kalitesini artırır.

3.4 Talaş şekli

Oluşan talaş tipine ek olarak talaşın şekli de bir malzemenin talaşlı imalata elverişliliğini değerlendirmek için önemli bir kriterdir. Genellikle kısa talaş çıkaran malzemelerle uzun talaşlar oluşturma eğilimi gösterenler arasında bir ayrım yapmak gerekir. Belki süreksiz ve iğneli talaşlar hariç olmak üzere kısa talaşlar, talaş akışı ve talaş kaldırılması için daha çok tercih edilebilir. Eğer talaşın kesintisiz bir biçimde oluşmasına ve akmasına izin verilmişse saf bakır ve yüksek bakır içerikli katı-çözelti bakır alaşımları, uzun sürekli talaş çıkarma eğilimi olan malzemeler grubuna aittir. Bu malzemelerin talaşlı imalatta kullanılması genelde daha kolaydır.

Bir talaşın şeklinin uygunsuz, kabul edilebilir veya iyi olup olmadığının değerlendirmesi (Şekil 16'ya bakınız) aşağıdaki kriterler temelinde yapılır:

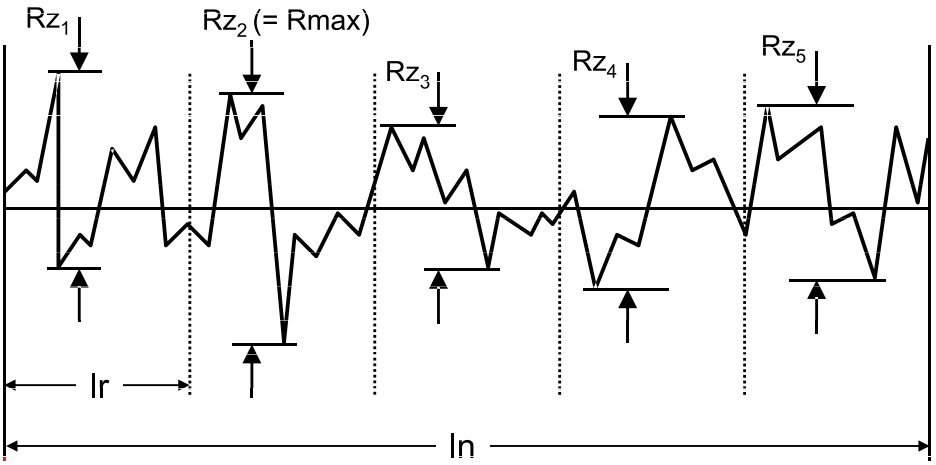
- Taşınabilirlik: Talaşlar, makinenin kesim bölgesinden kolaylıkla kaldırılmalarına imkan veren bir şekilde olmalı ve talaş taşıma sistemini veya kesim sıvısı filtrelerini tıkayacak kadar da küçük olmamalıdır.

- Yaralanma tehlikesi : Keskin uçlu, iç içe yada burgulu talaşlardan kaçınılmalıdır.

- Hasar görme riski: Talaşlar çalışma parçasına, kesim takımına veya makine takımına zarar vermemelidir.

Şekil 16'da gösterilen ilk beş talaş şekli: bant, iç içe, burgulu, konik sarmal ve uzun silindirik talaşlar ideal değildir çünkü bunlar talaşın kesim bölgesinden çıkarılmasını güçleştirir. Burgulu talaşlar, takımın dış yanından taşınma eğilimi göstererek takım tutucuda ve kesim kenarının temas bölgesinin dışında kalan kısımlarında hasara yol açar. Bant talaşları, iç içe talaşlar ve süreksiz talaşlar makinenin yakınındaki kişiler için yaralanma riskine yol açar. İnce iğneli talaşlar ise otomat pirinci ile talaşlı imalat yapılırken oluşabilir. İğneli talaşlar istenmez çünkü talaş taşıma sistemlerini tıkayarak ve sıvı filtrelerini keserek makine operatörünün yaralanması riskini artırma eğilimi gösterir.

Saf bakır ve yüksek bakır bakır-çinko alaşımları gibi homojen bakır malzemelerle talaşlı imalat yapılması, eğer kesilmemiş talaş alan genişse ve talaşın engelsiz olarak gelişmesine izin verilmişse uzun akışlı bant talaşları oluşturma eğilimi gösterir. İç içe yada düğümlü talaşlar, düşük ve orta ilerleme oranlarında oluşma eğilimi gösterirken küçük burun yarıçaplarında, ufak derinliklerde yada geniş kesme kenarı açılarında talaşlı imalat yaparken burgulu talaşlar oluşur.



lr: Numune alma uzunluğu

ln: Değerlendirme uzunluğu

Rz_i: Özel pürüzlülük derinliği (zirveden vadiye)

$$Rz_{(5)} = \frac{1}{5}\sum_{i=1}^{5} Rz_i$$

Rz: Orta değer pürüzlülük derinliği ('on-nokta yükseklik'): beş müteakip numune alma uzunluğunda ölçülen Rz_i özel pürüzlülük derinliklerinin aritmetik orta değeri

Rmax: Maksimum pürüzlülük derinliği: değerlendirme uzunluğu dahilinde zirveden vadiye pürüzlülük değeri

Şekil 15: *Pürüzlülük parametreleri (Mahr ve DIN EN 4287'ye göre)*

Burgulu talaşlar, keskin kenarlarıyla ilişkili yaralanma riskinden ötürü özellikle tercih edilmez. Küçük derinliklerde kesiklerle talaşlı imalat yaparken ve çalışma parçasına sadece takımın burun yarıçapı giriyorken konik helezon talaşların oluşması beklenebilir. Kesiğin derinliğinin artmasıyla birlikte talaşlar daha da uzunlaşır ve tüp görünümü alır. Bu talaş biçimi istenmez çünkü kütlesel talaşı, talaşın kesim bölgesinden çıkarılmasını zorlaştırır ve makinenin dışına taşır.

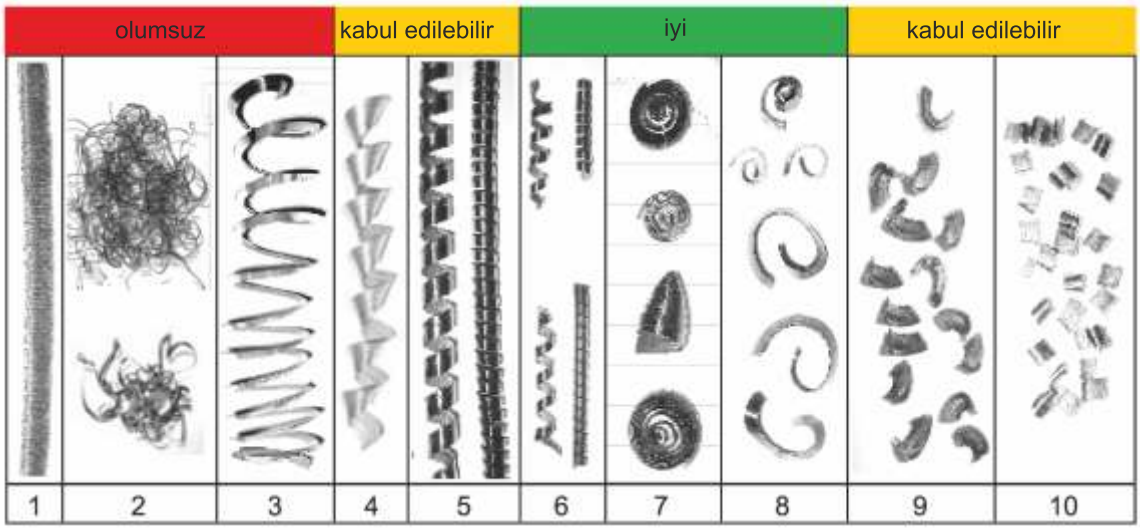
Tercih edilen talaş biçimleri, kısa tüp biçimli talaşlar, konik kangal talaşlar ve helezon talaşlar gibi kısa kırılan talaşlardır. Talaşların talaş taşıma sisteminin filtrelerini bloke etmemesi kaydıyla otomat alaşımları talaşlı imalattan geçirirken kemerli talaşlar, süreksiz talaşlar ve iğneli talaşlar da kabul edilebilir. Talaş şeklini etkileyen unsurlar arasında çalışma malzemesi, takım malzemesi, makine takımı nitelikleri, talaş kırımı, soğutucu yağı, kesim şartları ve takım geometrisi bulunmaktadır. Sunulan takım geometrisi tavsiyeleri, talaş kırıcıların şeklini ele almamaktadır.

Diğer tüm kesim şartlarının aynı kaldığını varsayarsak daha güçlü ve daha düşük esneklikli çalışma parçası malzemelerinde kısa kırılan talaşların oluşması daha muhtemeldir. İri taneli bir mikro yapı da torna yaparken daha tercih edilen talaş şekillerinin oluşmasına yardımcı olabilir. Dökme alaşımların özellikle de kum kalıba döküm alaşımların biçimlenebilen alaşımlara göre daha iyi talaş oluşumu nitelikleri sergilemesinin nedeni budur.

Talaş oluşumunun üzerinde en fazla etkisi olan kesim parametresi ilerlemedir. İlerleme ne kadar büyükse talaş da o kadar küçük olacaktır. Negatif bir tarak açısı, daha büyük derecede talaş sıkıştırmasına yol açar ve bu da genellikle daha olumlu talaş şekillerinin oluşmasını destekler. Kesim hızlarının artırılması, kesim sıcaklıklarının artırılmasıyla sonuçlanır ve çalışma malzemesinin olukluluğundaki artış da, bant ve sürekli talaş oluşumunu destekler.

Talaş şeklini değiştirmek için kesim şartlarını değiştirmek genellikle pek mümkün değildir çünkü kesim şartları genellikle diğer kriterlerle belirlenir. Bu gibi durumlarda talaş şeklinin oluşumu sadece talaş kırıcı kullanılmasından etkilenebilir.

Genelde talaşlı imalatta saf bakır ve katı-çözeltili saf bakır ve katı-çözeltili yüksek-bakır bakır alaşımları kullanılırken talaş oluşumu nispeten pek tercih edilmez. Yırtılma işlemi süresince oluşan plastik biçimi bozulmuş talaşın, çatlamanın ardından da hala yüksek esnemesi bulunmaktadır ve dolayısıyla kırılmama eğilimi gösterir – talaşla imalat işleminde sorunlara yol açabilecek bir unsur. Kurşun, tellür veya kükürt gibi talaş kırma alaşım elementleri, malzemenin talaş kırma özelliklerini ciddi ölçüde geliştirebilir (Kısım 4.4'e bakınız).



1 Bant talaşlar
2 İçi içe (veya dolaşık) talaşlar
3 Burgulu (veya conta tipli helezon) talaşlar
4 Konik helezon talaşlar
5 Uzun tüp biçimli talaşlar
6 Kısa tüp biçimli talaşlar
7 Konik kangal talaşlar
8 Spiral talaşlar
9 Kavisli talaşlar (veya talaş kıvrımları veya kısa virgül talaşlar)
10 Süreksiz (veya basit veya kısa virgül) talaşlar

Şekil 16: *Talaş biçimlerinin sınıflandırması (Kaynak: [19])*

4 Bakır esaslı malzemelerin talaşlı imalat gruplarıyla sınıflandırılması

4.1 Bakır malzemelerin standartlaştırılması

EN standartları, bakır alaşımlarının kimyasal bileşimi, özellikleri ve başlıca uygulamaları hakkında bilgi sunmakta ama aynı zamanda biçimlenebilen alaşım standartlarıyla döküm alaşım standartları arasında bir ayrım yapılmaktadır. Bu iki ana alaşım sınıfının her biri için malzemeler alaşım gruplarına ayrılmaktadır (Tablo 6 ve Tablo 7' ye bakınız). Her ne kadar bakır malzemelerin özellikleri öncelikle alaşımın bileşimiyle belirlense de bileşim-tabanlı bu sınıflandırma programı, malzemelerin talaşlı imalata uygunlukları yönünden kategorilere ayrılması uygun değildir çünkü aynı alaşım grubundaki alaşımlar talaşlı imalata uygunluk yönünden genellikle farklı nitelikler ortaya koymaktadır.

4.2 Talaşlı imalata uygunluğun değerlendirme kriterleri

Kısım 3'te tartışıldığı gibi bir malzemenin talaşlı imalata uygunluğu, herhangi bir terim veya tek bir parametreyle yeterince tarif edilemeyecek kadar çok karmaşık bir niteliktir ancak mekanik güç ve sertlik gibi özellikler bu tarife yardımcı olur.Talaşlı imalata uygunluk hakkında yapılabilecek herhangi değerlendirme, birtakım farklı kriterleri göz önünde bulundurmalıdır. Hangi kriterlerin en önemli olduğu, değerlendirilmekte olan belirli talaşlı imalat işlemine bağlı olacaktır – talaşlı imalata uygunluk kriterinin tek bir genel uygulanabilir sistem düzenine sokulmasını imkansız hale getiren bir unsur.

Aşağıdaki değerlendirme kriterlerinden bir yada iki adedini kabaca gözden geçirmek yeterli değildir.

Adlandırma	Sembol (standartlaştırılmamış)	Diğer alt bölümler
Bakır	-	Oksijen-içeren; oksijensiz; oksijeni alınmamış; gümüş taşıyan oksijensiz; fosforlu oksijeni alınmış
Düşük-alaşımlı bakır alaşımları (alaşım elementleri < % 5)	-	yaşlandırılamayan yaşlandırılabilir
Bakır-alüminyum alaşımları	Alüminyum bronzu	İkili (diğer elementler olmadan)
	Çoklu-bileşen alüminyum bronzlar	İlave Fe, Mn, Ni ile
Bakır-nikel alaşımları	-	-
Bakır-nikel-çinko alaşımları	Nikel gümüş	İlave alaşım elementleri olmadan Talaşlı imalata uygunluğu artırmak için ilave kurşunla
Bakır-kalay alaşımları	Kalay bronzu	İkili alaşım
	Çoklu-bileşen alüminyum bronzları	İlave çinkoyla
Bakır-çinko alaşımları, ikili alaşımlar	Pirinç	Başka alaşım elementleri olmadan
	Otomat pirinci	İlave kurşunla
Bakır-çinko alaşımları, çoklu bileşim alaşımları	Özel pirinç	Diğer alaşım elementleriyle

Tablo 6: İşlenmiş bakır alaşımları (CEN/TS 13388'e göre sınıflandırma)

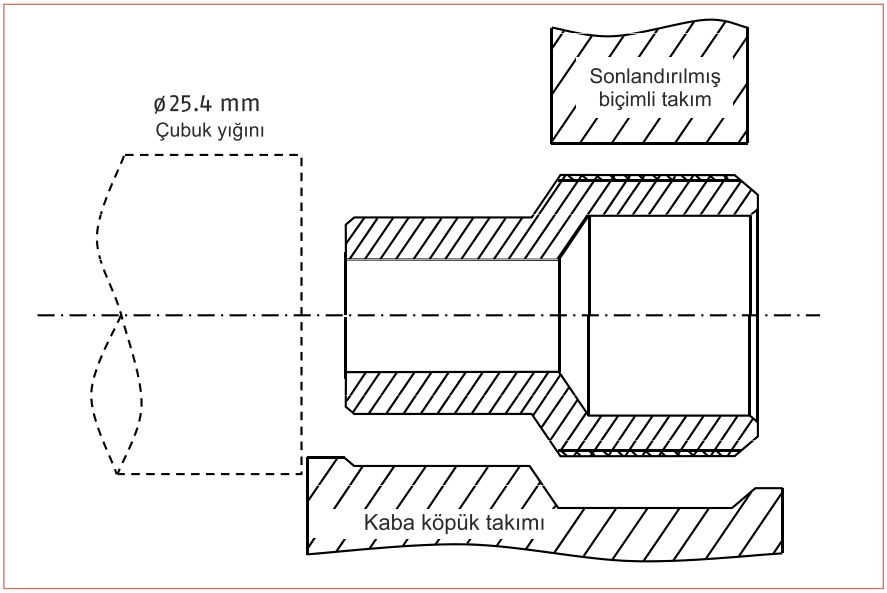
Adlandırma	Adlandırma (standartlaştırılmamış)
Bakır	Alaşımsız
Bakır-krom döküm alaşımları	Bakır-krom
Bakır-çinko döküm alaşımları	Pirinç Özel pirinç
Bakır-kalay döküm alaşımları	Kalay bronzu
Bakır-kalay-çinko-kurşun döküm alaşımları	Gun metal
Bakır-alüminyum döküm alaşımları	Alüminyum bronzu
Bakır-manganez-alüminyum döküm alaşımları	-
Bakır-nikel döküm alaşımları	-

Tablo 7: Bakır döküm alaşımları (EN 1982'ye göre sınıflandırma)

Kısım 3'te tartışıldığı gibi talaşlı imalatta kullanılabilirliği değerlendirmekte kullanılan başlıca kriterler takım yıpranması, talaş oluşumu, kesim güçleri ve yüzey kalitesidir.

Yine de uygulayıcılara mevcut malzemelerin talaşlı imalata uygunluğu hakkında genel bir bakış sağlamak için bakır üreticilerinin çıkardığı literatürde ve teknik yayınlarda bakır ve bakır alaşımlarının talaşlı imalata uygunluğuna dair genel bir dereceleme endeksi oluşturulmuştur. Avrupa'da karşılaştırma amacıyla kullanılan referans malzeme kurşun taşıyan otomat pirinci CuZn39Pb3 iken ABD'de ise bu alaşım CuZn36Pb3'tür. Bu referans malzemelere, talaşlı imalata mükemmel uygunluğu olan bakır alaşımları için 100 ve talaşlı imalattan geçirilmesi çok zor olanlar için de 20 olmak üzere talaşlı imalata elverişlilik endeksi atanmıştır.

Belirli bir bakır alaşımına tahsis edilen talaşlı imalata uygunluk endeksi büyük ölçüde pratik uygulamalardan elde edilen deneyim ve veriler temelindedir. Bu değerler bir dizi deneysel çalışmayla desteklenmiştir. 1977'de Amerikan Standartlaştırma Örgütü ASTM farklı çeliklerin talaşlı imalatta kullanılma performansının tipik üretim şartlarında karşılaştırılmasına imkan veren bir test geliştirmiştir. Bakır Geliştirme Derneği (CDA) talaşlı imalata nispi uygunluklarını değerlendirmek ve çeliğin yanı sıra diğer alaşımlarla karşılaştırmak üzere bu testi bakır esaslı muhtelif malzemelere uygulanmıştır. (Şekil 1'e bakınız).
Genellikle ASTM E618 olarak bilinen test – standart bir parçanın hacimli üretimine dayalıdır, Şekil 17'ye bakınız. Standart parçanın kendisi de otomatik vida makineleri üzerinde en yaygın işlemler kullanılarak imal edilmek üzere tasarlanmıştır: pürüzlü torna, hassas torna ve delme. Testin amacı sekiz saatte üretilebilecek maksimum standart parça sayısını tespit etmektir. Sekiz saatten sonra sadece biçim takımının değiştirilmesi gerekecek şekilde talaşlı imalat parametrelerini optimize etmek için bir dizi testler yapılmıştır. Talaşlı imalat parametrelerini optimize etmek için biçim takımı sadece sekiz saatten sonra değiştirilecek şekilde bir dizi test çalışma yapılmıştır. Kullanılan değerlendirme kriterleri boyutsal kesinlik ve talaşlı imalat parçasında yüzey sonlandırması yapılmasıdır. Üretilen maksimum parça sayısı, karşılaştırılacak malzemelerin her biri için tespit edilir ve daha sonra değerler sıralanır. Talaşlı imalata elverişlilik nihai endeksi de dolayısıyla hacim üretim faaliyetleri sırasında başka bir malzeme kullanımıyla karşılaştırıldığında belli bir malzeme kullanmak suretiyle elde edilebilecek verimlilik düzeyinin bir ölçüsüdür.



Şekil 17: ASTM E618 testinde kullanılan standart parça ve biçim takımının konumu. Bakır alaşımlarında yapılan testler için çubuk yığınının çapı 19 mm'ye düşürülmüş ve parçanın geometrisi de buna göre ayarlanmıştır. Eğer değişiklik karşılaştırılan bütün malzemeler için yapılmışsa ASTM E618 çerçevesinde buna izin verilmiştir.

Ancak test çok zaman alıcı olduğundan ve testi yapmak için önemli miktarda malzeme gerektiğinden bütün bakır alaşımları için halen veri mevcut değildir.

Avrupa'da referans olarak kullanılan bakır alaşımı otomat pirinci CuZn39Pb3; ABD'de CuZn36Pb3 alaşımıdır. Bu malzemelerin talaşlı imalata optimum düzeyde uygun oldukları ve dolayısıyla talaşlı imalata uygunluk yönünden 100 puan verildiği kabul edilmektedir. Talaşlı imalata uygunluğun azaltılması, talaşlı imalata uygunluk endeksinin 10'ar puanlı kademelerle 20 asgari değerine kadar azaltılmasıyla temsil edilmektedir.

Bakır alaşımlarının talaşlı imalata uygunluk endeksleri aynı zamanda Alman Bakır Enstitüsü (DKI) tarafından malzeme verileri dökümünde, Amerikan Bakır Geliştirme Derneği tarafından ve bakır üreticileri tarafından da sunulmuştur. Kural olarak talaşlı imalata uygunluk endeksleri, ölçülen belirli değerlere dayalı değildir. Bunlar öncelikle takım yıpranmasına ve talaş oluşumuna dayalı bir tarak sistemi sağlar. Bu nedenle talaşlı imalata uygunluk endeksi, kaynağa bağlı olarak büyüklüğü yönünden hafif değişiklik gösterebilir.

4.3 Döküm, soğuk biçimlendirme ve yaşlandırma sertleştirmesi işlemlerinin talaşlı imalata uygunluk üzerindeki etkisi

Dökme bakır alaşımlarını talaşlı imalattan geçirirken döküm yüzeyinin niteliklerinin ana malzemeden ciddi ölçüde farklı olacağını anlamak önemlidir. Genelde döküm alaşımının derisi, dökme malzemeye göre çok daha güçlü ve daha serttir. Bunun takım yıpranması üzerinde belirleyici bir etkisi bulunmaktadır ve yüzey kalitesiyle boyut tutarlılığının önemli ölçüde kötüleşmesiyle sonuçlanabilir.

Dökme parçaların sertliği ve çekme dayanımı gücü genelde aynı bileşimdeki, geniş bir yelpazede değişiklik gösteren uzama değerli, haddeli ve çekilmiş ürünlere göre daha düşüktür. Eğer döküm yüzeyi göz ardı edilirse döküm alaşımları mikro yapılarından ötürü genelde işlenmiş alaşımlara göre talaşlı imalatta çok daha kolay kullanılabilir.

Mikro yapıda homojenlik eksikliği,

gözenekler ve metalik olmayan maddeler bulunması, takımın keskin kenarında ek dinamik yükler oluşturur ve bu da kenar talaşlanmasına yada israflara ve takım ömründe ciddi kısalmalara yol açabilir. Alüminyum oksidin (alümina, kaba lal taşı), silikon karbür, demir silisit veya kuarts gibi silisitler de talaşlı imalat yaparken özellikle istenmez. Gözeneklilik, örn. küçük oyukların veya boşlukların yol açtığı gaz gözenekliliği de takım yıpranması üzerinde benzeri bir olumsuz etkiye yol açabilir tekrar kesintili kesmelerden ötürü etkisinden daha az bahsedilmesi muhtemeldir.

Bakır alaşımlarının soğuk işlenmesi daha fazla metal sertliğine, çekme dayanımı ve uzamada azalmaya yol açar. Mekanik özelliklerdeki bu değişiklikler, talaşlı imalata uygunluk üzerinde olumlu bir etkiye sahiptir. Bu malzemeler, soğuk biçimlendirmeyle sertleştirilmemiş malzemelere göre özellikle daha iyi talaş kırılma özelliği göstermektedir.

Biçimlenebilen alaşımların soğuk işlenmesi, malzemede kasılma oluşturabilir çünkü biçimlendirme süreci genellikle sadece malzemenin çapraz kesitinin bir kısmını etkiler. Örneğin bir çubuğa soğuk çekim yaparken malzemenin dış katmanları, gerilim baskısına tabi tutulurken malzemenin kütlesi sıkıştırma altındadır. Benzeri bir durum, soğuk yüzey haddeli yarı mamül stoklar için de geçerlidir. Tornada olduğu gibi malzemenin dış katmanlarının tamamen çıkarılması bazı durumlarda çubuğun uzamasıyla sonuçlanabilir. Aksine yuvalarda, yivlerde veya anahtar yollarında freze yapılması yada malzeme katmanının sadece bir kısmını çıkaran başka herhangi talaşlı imalat işlemi, çalışma parçasında bükülmeye veya burkulmaya yol açabilir. Bu türden zorluklar aynı zamanda dairesel olmayan tüp yapımlarında, örneğin torna ile biçimlendirme veya soğuk haddeli levha planyalama veya frezelemesinde de ortaya çıkabilir.

Bu türden eksiklikler, talaşlı imalattan geçirilen parçaların yaklaşık bir saat süreyle gerilim giderme tavlamasına tabi tutulması yoluyla ortadan kaldırılabilir. Bakıra 150 ile 180°C arası sıcaklıkta işlem yapılabilirken bakır-çinko alaşımlarına 250 ile 300°C arasında işlem yapılır. Bu türden ısı uygulaması, gerilmeli korozyon çatlamasına karşı dayanıklı bakır-çinko alaşımları yapmak için kullanılan prosedüre denktir; malzemenin gücünde herhangi azalma olmaksızın elastik özelliklerini geliştirir.

Bakır alaşımlarının göreceli düşük elastik modülleri olmalarından dolayı, büyük oranlı soğuk biçimlendirme yapıldıktan sonra dahi yüksek esneklik sergilerler. Eğer gerekli ise çalışma parçasının altı beslenmelidir.

Eğer mümkün ise bakır esaslı alaşımlar iyi şekilde sertleştirildikten sonra işlenmelidir.

Bu aslında talaşlı imalata uygunluktaki büyük farklılıkların bazen bazen aynı malzemede gözlemlenmesinin gerekçelerinden biridir.

Sertleştirilebilir (çökeltmeyle sertleştirilebilir) bakır alaşımları,talaşlı işlenmesi en iyi şekilde çökel-uygulamasının öncesinde soğuk biçimlenmiş malzemede gerçekleştirilebilir çünkü sertleşme oluştuktan sonra kesim takımı yıpranması çok daha fazla olacaktır. Malzeme, çökeltme sertleştirmesi yapılmış durumdayken tercih edilen tek işlem taşlama ve parlatmadır. Yüksek kesim sıcaklıklarından ötürü malzeme sertleşmesini önlemek için yeterli soğutma ve yağlamayı güvence altına alacak kesim sıvıları kullanılmalıdır.

4.4 Alaşım elementleri ve bunların talaşlı imalata uygunluk üzerindeki etkisi

Yüksek yivliliği ve yüksek soğuk talaşlı imalat niteliğinden ötürü saf bakırın talaşlı imalattan geçirilmesi zordur. Takım yıpranması çok yüksektir ve talaş oluşumu da çok zayıftır. Talaş oluşumu temel önemde olduğundan, kesici kenar da daha büyük mekanik yüklere tabi tutulur. Saf bakırın talaşlı imalattan geçirilmesi sırasında oluşan tüp biçimli uzun talaşlarla başa çıkılması ve uzaklaştırılması zordur. Saf bakırın talaşlı imalattan geçirilmesi sırasında kesim basıncı tektip olarak kaldığı için çatırdama işaretleri oluşmayabilir. Ancak saf bakırın talaşlı imalattan geçirilmesi sırasında kalıntı kenar oluşumu riski bulunmaktadır ve bu da talaşlı imalat sonlandırmasının zayıf kalmasına yol açabilir. Saf bakırın talaşlı imalattan geçirilmesi sırasında birikim kenar oluşması riski azalır ve bu da talaşlı imalat yüzeyinin kötü olmasına yol açar. Birikim kenar oluşması eğilimi, kesim hızının artmasıyla ve daha büyük ilerleme oranlarında azalır.

Bakır oksit, bakırın içinde çözülmediğinden oksijen taşıyan bakır sınıfları belli bir derecede mikro yapı homojensizlik gösterir ki bu da talaş oluşumu üzerinde az miktar da olumsuz bir etkiye ve takım ömrü üzerinde de olumsuzluğa yol açar. Farklılıklar çok büyük olmadığındaysa oksijensiz bakırlar daha geniş düzeyde 'yapışkanlık' göstererek oksijen taşıyan bakırların talaşlı imalatta genellikle tercih edilmesini sağlar.

Kurşun, kükürt, tellür ve selenyum gibi talaş kırıcı unsurlar eklemek suretiyle talaş oluşumu geliştirilebilir. Talaşlar, kesim bölgesinden atılacak olan iğne benzeri parçacıklara ayrılır. Almanya'da tercih edilen alaşım %0.2-0.7 S ve %0.5-0.7 Te içeren CuSP iken uluslararası düzeyde %0.7-1.5 kurşun içeren CuPb1P tercih edilen alaşım olmuştur. Tellür ilave edilmesi, elektrik iletkenliğini sadece %5-8 civarında azaltır. Bu alaşımlar, hem iyi bir elektrik iletkenliği olan hem de talaşlı imalata uygunluk gerektiren elektrik mühendisliği uygulamalarında kullanılır.

Tellür parçacıkları dahi bakır alaşımlarının sıcak formlama özelliklerini ciddi ölçüde düşürebileceği için CuTeP talaşlarının diğer bakır talaşlarıyla karışmasını önlemek önemlidir. Aynısı CuSP için de geçerlidir çünkü kükürt safsızlıklarının, bakır alaşımlarının soğuk işlem kapasitesi üzerinde belirleyici bir etkisi bulunmaktadır.

Alaşımların mikro yapılarının homojen karma kristallerden (katı çözeltiler) oluşması kaydıyla talaş oluşumu ve takım ömrü açısından bakırın çinko, kalay, nikel ve alüminyum ile alaşımları saf bakırınkilere benzer talaşlı imalat nitelikleri göstermektedir.

Heterojen bakır alaşımları, hiçbir talaş kırıcı unsur içermeyen biraz farklı talaşlı imalat özellikleri sergilemektedir. Heterojen bakır alaşımları grubu, ikinci bir karma kristal oluşacak kadar yüksek konsantrasyonlarda çinko, kalay, nikel veya alüminyum elementlerini içeren bakır esaslı alaşımlardan oluşmaktadır. Genellikle birincil karma kristale göre daha sert ve daha kırılgan olan ikinci karma kristal, esneme ve biçimlendirme niteliklerinde ve özellikle de soğuk çalışılabilme özelliğinde kayıplara yol açılması pahasına alaşımın çekme dayanımında

ve sertliğinde artışa yol açar. Bu itibarla ikiden fazla alaşım bileşeni içeren çok bileşenli bakır alaşımlarından bahsedilmelidir.

Heterojen (yani iki fazlı veya çok fazlı) bakır alaşımlarının talaşlı imalata uygunluğu, homojen tek fazlı bakır alaşımlarınınkilere göre ciddi ölçüde daha iyidir. Dökme bakır-kalay alaşımları gibi düşük uzamaya sahip alaşımlarda talaşlar kırılarak kısa spiral talaşlar oluşur. CuZn40Mn2 gibi yüksek uzama gösteren alaşımlarda oluşan talaşlar, kullanılan ilerleme oranına bağlı olarak ve ikincisi düşük ilerlemelerde oluşmak üzere ya kısa helezon talaşlardır yada uzun silindirik talaşlardır.

Talaş oluşumu süreci takım titreşimlerine yol açarak yeterince geniş hacimde olması halinde çalışma parçasının üzerinde çiziklere neden olabilir. Buna karşı da maksimum sertlikte takımlar veya takım tutucular kullanılarak işlem yapılabilir ve takım sarkıklığı en aza indirilebilir.

İkinci daha sert karma kristalin bulunması sonucunda iki aşamalı heterojen bakır alaşımlarının talaşlı imalatta kullanılabilirliği azalır. Bakır-kalay alaşımlarında kalay miktarının artırılması takım ömrü sabit kalarak kesme hızını artırır.

Alüminyum ve daha büyük miktarlarda demir ve nikel de bakır alaşımlarının talaşlı imalata uygunluğu üzerinde belirleyici bir etkiye sahiptir. Çok bileşenli bakır-alüminyumun talaşlı imalata nitelikleri, çeliğinkine yakındır.

Saf bakır ile ilgili olarak zaten bahsedildiği gibi talaş kırma katkı maddeleri, bakır alaşımlarının talaşlı imalata uygunluğunu artırabilir. Bakır alaşımlarında kullanılan tek talaş kırıcı alaşım elementi kurşundur. Alaşıma kurşun eklenmesi, malzemenin mekanik gücünde sadece ufak bir etkiye yol açar. Ancak alaşımın soğuk biçimlendirmeden geçme becerisi ve hem etkiye hem de şoka direnebilme yeteneği ciddi ölçüde azalır. Bütün bu nedenlerle ve özellikle de sıcak biçimlendirme özellikleri zarar gördüğünden ötürü yüksek dayanımlı ve darbe dirençli bakır-alüminyum alaşımlarına kurşun eklenmez.

Çalışma parçasının lehimleme veya kaynak işlemlerinden geçmesi durumunda kurşun taşıyan bakır alaşımları sadece sınırlı bir uygulanabilirliğe sahiptir. Aynı unsur çalışma parçaları için de geçerlidir, yani talaşlı imalattan geçirilmeye ek olarak kapsamlı soğuk biçimlendirme işlemlerine de tabi tutulurlar.

Talaş kırılmayı artıran katkı elementleri içeren alaşımlar ince, iğne benzeri talaş yada süreksiz talaş oluşturur. Kurşunlu bakır alaşımlarını talaşlı imalattan geçirirken talaşların oluşma biçimi, aynı gerilim gücündeki kurşunsuz bakır alaşımlarıyla karşılaştırıldığında bunlarda çizik oluşması ihtimalini daha da artırır. Titreşimsiz çalışan makineler kullanmak ve yeterli sertlikte takımlar ile takım tutucular kullanmak suretiyle buna karşı işlem yapılabilir. Diğer yandan kurşunlu bakır alaşımlarını talaşlı imalattan geçirirken uygulanması gereken kesim gücü, Tablo 3'te görülebileceği gibi çok düşüktür. Kurşunlu bakır alaşımlarının talaşlı imalat için mükemmel uygunlukları, malzemenin ufak parçacıklara kırılabilme kolaylığına atfedilebilir. Düşük kesim gücüne ilaveten kesim takımlarının hizmet ömrü de çok uzundur ve dolayısıyla sadece kabul edilir dış yan yıpranmasıyla sınırlı kalabilir.

Ancak iğne benzeri ince talaşların dezavantajlı olabileceği çünkü kesme sıvısı filtrelerini tıkayabilecekleri de hatırlanmalıdır. Delme işlemi yaparken daha uzun talaşlar üreten bakır alaşımları da tercih edilebilir zira bu talaş biçimini delinmiş delikten çıkarmak daha kolaydır.

Bakır alaşımlarının niye üç ana talaşlı imalata uygunluk kategorisinde sınırlandırıldığını daha iyi anlamak için aşağıda her bir bakır alaşımı grubunun talaşlı imalata uygunluğuna daha yakından bakacağız.

α Bakır-çinko alaşımları (yani pirinç) durumunda ise en az %63 bakır içeren tek aşamalı katı-çözelti ((aynı zamanda 'alfa pirinç' veya 'soğuk çalışma pirinçleri' olarak da bilinen) bakır-çinko alaşımları) ile %54 ile 63 arası bakır içeren iki fazlı heterojenler(α+β)-bakır-çinko alaşımları ('alfa-beta pirinçler', 'dupleks pirinçler' yada 'sıcak çalışma pirinçleri'). Yumuşak hallerinde tek fazlı α-pirinçler, talaş oluşumu ve takım ömrü itibarıyla saf bakırla benzer biçimde davranır. Bu malzemelerin sertliği ve çekme dayanımı çinko içeriğiyle birlikte yada soğuk çalışma sertleştirmesi üzerinden artarak talaşlı imalata uygunluk yönünden hafif bir gelişme sağlar.

Talaşlı imalatta daha iyi kullanılabilirlik, CuZn40 gibi heterojen bakır-çinko alaşımlarıyla gösterilmektedir. Özel pirinçler yani kurşun haricindeki diğer elementleri içeren bakır-çinko alaşımları da tek fazlı α-pirinçlerine göre talaşlı imalatta kullanılabilmeye yönelik daha üstün özellikler göstermektedir. Her ne kadar takım ömrü, daha sert ikinci karma kristal bileşenleri (kalay, alüminyum, nikel, silikon, manganez) bulunmasından olumsuz etkilense de bu, özellikle talaş oluşumu için doğrudur.

Talaş oluşumu (Şekil 18c'ye bakınız) ve takım ömrü itibarıyla tercihe bağlı talaşlı imalat özellikleri, kurşunlu pirinçler olarak adlandırılanlarda, yani ilave kurşun içeren (α+β)-bakır-çinko alaşımlarında görünmektedir. Torna işlemlerinde özellikle otomatik vidalı makinelerde gerçekleştirilenler, talaşlı imalata en uygun alaşımlar CuZn39Pb3 ve CuZn40Pb2'dir.

Pratikte kurşun, bakır-çinko alaşımında çözünür değildir ve ince dağılımlı olduğunda ise mükemmel bir talaş kırıcı ve bazı durumlarda da sürtünmeyi azaltan yağlayıcı özellik gösterir. %3.5'un üzerinde bir kurşun içeriği pek yaygın değildir çünkü bakır-çinko alaşımı içinde kurşunun serbest şekilde düzgün dağılmasını sağlamak çok zor olacaktır. Yüksek kurşun konsantrasyonlarının kullanılması halinde talaşlı imalata uygunluktaki küçük bir gelişme, mekanik özelliklerdeki bozulmayı kabul etmek için yeterli gerekçe sağlamaz. Sadece talaşlı imalattan geçirilmeyecek ama aynı zamanda soğuk veya sıcak biçimlendirmeden geçecek pirinçler için kurşun içeriği %1.5 civarıyla sınırlıdır. Çok yüksek kurşun konsantrasyonu da parlatılabilme niteliğine zarar verir.

Ayrıca 2000/53/EC sayılı Avrupa Yönergesi de ağır metaller içeren otomobil bileşenleri kullanımını kısıtlamaktadır ve 2002/95/EC sayılı AB Yönergesi de elektrikli ve elektronik teçhizattaki kurşun içeriğini

düzenlemektedir. Ancak bakır esaslı malzemeler için ağırlık itibarıyla maksimum yüzde 4'lük kurşun içeriğine izin veren bir istisnai kural geçerlidir. 98/83/EC sayılı Avrupa Yönergesi sıhhi malzemelerin her bir litre içme suyu başına en fazla 25 µg kurşun (Pb) çıkarması gerektiğini belirtmektedir ve 2013 itibarıyla da en fazla 10 µg/l Pb'ye izin verilecektir.

Bakır esaslı alaşımların katkı maddesi olarak kurşunun yerini alacak uygun bir element bulunması çabaları, sıhhi tesisatlarda kullanılmak üzere kurşunsuz silisyum içerikli bakır alaşımı geliştirilmesine yol açmıştır. Bu malzemenin talaşlı imalatta kullanılabilmesi, kurşunlu pirinçlerinkiyle karşılaştırılabilir bir düzeydedir (Şekil 18b; talaşlı imalata uygunluk grubu I). Mikro yapıdaki silisyum zengini fazları (kappa aşamaları) talaş kırıcı olarak görev yapar. Kurşununkine göre bu malzemenin talaşlı imalata uygunluğu karşılaştırılabilir bir düzeydedir (Şekil 18b; talaşlı imalata uygunluk grubu I). Mikro-yapıdaki (kappa fazları) silisyum zengini fazlar, talaş kırıcı olarak hareket eder. Kurşunla karşılaştırıldığında bu fazlar 'sert' talaş kırıcıdır [20]. Silisyum, malzemenin gücünü artırdıkça ve κ-fazı aşındırıcı olarak hareket ettikçe takım yıpranması, kurşunlu alaşımların talaşlı imalattan geçirilmesi halinden daha büyüktür.

Bakır-kalay alaşımlarında (yani 'kalay bronzlarda') homojen tek-fazlı ve heterojen iki fazlı alaşımlar arasındaki sınır, %8 civarında bulunmaktadır. Yine de daha yüksek kalay içerikli iki fazlı dökme kalay bronzlarının da talaşlı imalattan geçirilmesi takım yıpranması ve talaş oluşumu itibarıyla değerlendirildiğinde daha kolay görünür (Şekil 18a). Ve dökme kalay bronzları, tek fazlı işlenmiş bronzlara göre talaşlı imalata daha fazla uygunken yükselen kalay içeriğiyle birlikte çekme dayanımındaki ve sertlikteki artış, diğer bakır alaşımlarıyla karşılaştırıldığında kesim hızının düşürülmesini gerektirecek şekilde takım yıpranmasını artırma eğilimi gösterir.

Dökme bakır-kalay-çinko alaşımlarının heterojen bir mikro yapısı bulunur ve ilave kurşun içerenler de talaşlı imalata uygunluk için olumlu nitelik sergiler. Aynısı kurşunlu dökme bakır-kalay alaşımı CuSn11Pb2-C için de geçerlidir. Bu malzemeler %3'ü aşan kurşun içeriği ile katı yağlayıcılık özelliği gösterir. Kurşun ilavesi yağlayıcılık etkisini ve istenilen döküm özelliklerini karşılamaktadır.

Daha da iyi talaşlı imalata uygunluk, makine yağlama özelliklerini geliştirmek için %26'ya kadar ilave kurşun içeren heterojen döküm kurşunlu kalay bronzlarla ortaya koyulmaktadır.

Nikelin heterojen fakat kurşunsuz bakır-nikel-çinko alaşımlar (nikel gümüşler) dayanım artırıcı etkisi de takım ömrünü azaltma eğilimi gösterir. Bunun aksine kurşunlu nikel gümüşlerin talaşlı imalattan geçirilebilmesi de serbest kesim pirincinki kadar iyidir. Ancak takım ömürleri de nikel gümüşlerinin daha fazla sert olmasından ötürü ciddi ölçüde daha kısadır.

Tek fazlı bakır-nikel alaşımlarının talaşlı imalattan geçirilmesi, bu alaşımların çatlak ve uzun, yivli talaş oluşturma eğiliminden ötürü çok zordur.

Bakır-alüminyum alaşımları (alüminyum bronzlar), %8 civarında alüminyuma kadar homojen tek fazlı mikro yapı sergiler. Tek fazlı ikili bakır-alüminyum alaşımlarının mikro yapısı nispeten yumuşak α-fazlı kristaller içerir.

Diğer tek fazlı bakır esaslı malzemeler gibi bu fazlı talaşlı imalattan geçirmek de zordur çünkü uzun biçimli talaş çıkarmaya yatkındırlar. Talaşlı imalata daha fazla uygunluk iki fazlı alüminyum bronzlarla ve çok-bileşenli alüminyum bronzlarla sergilenir. Ancak bunların yüksek çekme dayanımlı ve sertliğinden ötürü bu malzemeler önemli takım yıpranmasına yol açabilir. Dökme bakır-kalay bronzlarla karşılaştırıldığında CuAl10Fe5Ni5-C gibi bir alaşımın, aynı takım ömrünü korumak için çok daha düşük bir kesim hızında talaşlı imalattan geçirilmesi gerekir. CuA17Si gibi silisyum taşıyan bakır-alüminyum alaşımları, demir kalıntıları sonucunda demir silisitlerden oluşan sert yapılar taşıyabilir. Bu nedenle bu tür malzemeyle talaşlı imalat yaparken karbür takımlar tavsiye edilir. İki fazlı heterojen alüminyum bronzlarının talaşlı imalata uygunluğu, diğer bakır esaslı malzemelerden çok orta sertlikteki çelik düzeylerininkine benzerdir.

Şekil : 18 Talaş Şekilleri

4.5 Bakır ve bakır alaşımlarının başlıca talaşlı imalat gruplarında sınıflandırılması

Bakır ve bakır alaşımları konvansiyonel olarak üç ana talaşlı imalata uygunluk grubunda sınıflandırılır ve bu grupların her biri talaşlı imalata uygunluk yönünden benzeri nitelikler içerebilir. Kabaca üç ana talaşlı imalata uygunluk grubuyla sınıflandırma, Kısım 3'te tartışılan değerlendirme kriterlerinin tahminlerine dayalıdır. Bakır ve bakır alaşımları için başlıca talaşlı imalata uygunluk kriterleri talaş biçimi ve aşınmadır. Talaş biçimi ve takım aşınması niteliklerine ek olarak sınıflandırmaya yardımcı olmak için mikro-yapı da kullanılır çünkü malzemenin talaşlı imalata uygunluğu üzerinde ciddi bir etkisi bulunmaktadır. Tablo 8'de bakır ve bakır alaşımlarını başlıca üç talaşlı imalata uygunluk grubuna sınıflandırmak için kullanılan nitelikler listesi verilmektedir.

Talaşlı imalata uygunluk grubu I ('Tip I' veya 'otomat' alaşımları)

Bu grup homojen ve heterojen mikro yapılı ilave kurşun, tellür veya kükürt içeren bakır-esaslı malzemeler içerir. Tip I malzemelerin talaşlı imalata uygunluk yönünden mükemmel nitelikleri, bu talaş kırıcı unsurların eklenmesinden kaynaklanmaktadır.

Talaşlı imalata uygunluk grubu II ('Tip II' veya 'kısa-talaş' alaşımları)

Tip II bakır alaşımları en çok kurşunsuz olanlardır ve orta ile iyi arasında talaşlı imalata uygunluk niteliği sergiler. Bunların soğuk biçiminin yapılması genelde heterojen mikro yapısı bulunan tip I malzemelere göre daha kolaydır. Tip II bakır alaşımlarının soğuk biçimlendirilebilmesin büyük olması genellikle tip I alaşımlara göre daha uzun talaş çıkarabilmeleri anlamına gelir.

Talaşlı imalata uygunluk grubu III ('Tip III' veya 'uzun-talaş' alaşımlar)

Bu grup, grup I ve II'deki alaşımlara göre talaşlı imalattan geçirilmesi daha zor olan bakır esaslı malzemeleri içerir. Bu malzemelerin tek fazlı mikro yapıları ve mükemmel soğuk çalışılabilme nitelikleri, daha yüksek kesim gücüyle ve uzun, yivli talaşlarla sonuçlanır. Düşük alaşımlı bakır-esaslı alaşımların mükemmel soğuk oluşum nitelikleri talaş oluşumuna ciddi ölçüde zarar vermekte ve hızlı takım yıpranmasıyla sonuçlanmaktadır. Çinko, kalay, nikel veya alüminyum içeren homojen (yani tek fazlı, katı çözelti) bakır alaşımlar da zayıf talaş oluşumu ve düşük takım ömrü ortaya koymaktadır. Tip III malzemeleri de yüksek dayanımlı bakır alüminyum alaşımları ve düşük alaşımlı sertleştirmeli bakır alaşımları gibi heterojen alaşımlar içerir.

Tablo 9, Tablo 10 ve Tablo 11 standartlaştırılmış bakır ve bakır alaşımı malzemelerinin konvansiyonel yollarla sırasıyla talaşlı imalata uygunluk I, II ve III gruplarına sınıflandırmasını sunmaktadır. Her ne kadar sert ile talaşlı imalata uygun tip III arasındaki alaşımlar için sınıflandırma sıkça bahsedilen takım yıpranması temelinde yapılsa da sınıflandırma öncelikle beklenen talaş oluşumuna dayandırılmıştır.

Talaş oluşumu büyük ölçüde kurşun içeriğine bağlı olduğu için izin verilen maksimum limitin altında kurşun içeriğine sahip bir bakır alaşımının talaşlı imalata uygunluğu, kurşunun alaşımdaki fiili konsantrasyonuna bağlıdır. Kurşun içeriği, belli şartlar altında tip II bakır alaşımının tip I veya tersi olarak yeniden sınıflandırılmasının gerekçesini oluşturabilir.

Başlıca üç talaşlı imalata uygunluk grubunun her birinde işlenmiş ve dökme alaşımlar arasında bir ayrım yapılmaktadır. Bakır alaşımlarının talaşlı imalata uygunluğu, aynı talaşlı imalata uygunluk grubundaki malzemeler arasında bile ciddi ölçüde değişiklik gösterebilir. Tablolara her bir alaşım için talaşlı imalata uygunluk dereceleri eklenmiştir (daha önceki tartışmalara bakınız). Bu derecelemeler, ana grup içindeki malzemelerin hassas bir biçimde ayrıştırılmasına imkan vermektedir. Grup I'deki alaşımların talaşlı imalata uygunluk derecesi 100 ile 70 arasında değişirken grup II'dekilerinki 60 ile 40 arasında değişir ve grup III'deki malzemeler ise 30 ile 20 arasında talaşlı imalata uygunluk sergiler. Talaşlı imalata uygunluk derecesi, kısmen deneysel gerçeklere ve kısmen de tecrübeye dayalıdır. Belirtilen talaşlı imalata uygunluk derecelerinin çeşitli kısıtlar ve kriterler kullanılarak tespit edildiğini anlamak önemlidir. Bu nedenle teklif edilen dereceleme değerleriyle ve belirli bir talaşlı imalata uygulanmayla bağlantılı bir belirsizlik ve tutarsızlık düzeyi bulunmaktadır. Torna işlerinde dereceleme değerlerinin geçerliliğinin %70 civarında olacağı tahmin edilmektedir.

Nitelikler	*Talaşlı imalata uygunluk grubu*		
	I (Tip I Alaşımları)	*II (Tip II Alaşımları)*	*III (Tip III Alaşımları)*
Mikro yapı	*Talaş kırıcı parçacıkları (Pb, S, Te) olan homojen/heterojen yapı*	*Heterojen (kaba parçacık aşaması) Pb parçacığı yok*	*a) homojen b) heterojen (ince dağılımlı kalıntılar)*
Talaş biçimi	*Kısa (süreksiz, kırılgan talaşlar)*	*Orta büyüklük (balyalı silindirik talaşlar)*	*Uzun ve oluklu (sıkıca balyalanmış, karmaşık veya bant talaşlar)*
Takım yıpranması	*düşük*	*orta*	*yüksek*
İşlenmiş malzemelerin soğuk çalışılabilirliği	*genelde zayıf*	*genelde iyi*	*a) çok iyi b) düşük*
İşlenmiş malzemelerin sıcak çalışılabilirliği	*genelde iyi*	*Mutedil ölçüde iyi*	*a) mutedil ölçüde iyi b) iyi*

Tablo 8: *Bakır ve bakır alaşımlarının talaşlı imalata uygunluğuna dair konvansiyonel şema*

Alaşım grubu I		Malzeme			Gerilim gücü R_m [N/mm²]	0,2% verim gücü $R_{p0,2}$ [N/mm²]	Kırık sonrası uzama A [%]	Sertlik [HB]	Takım geometrisi göstergesi	Talaşlı imalata uygunluk derecesi
		Sembol	Sembol (EN)	Sembol (UNS)						
İşlenmiş Bakır Alaşımları	Düşük alaşımlı bakır alaşımları – yaşlandırma sertleştirmesi yapılamayan	CuPb1P	CW113C	C18700	250 – 360	200 – 320	5 – 7	90–110	–	80
		CuSP	CW114C	C14700					C*	80
		CuTeP	CW118C	C14500					C*	80
	Bakır-nikel-çinko alaşımları	CuNi7Zn39Pb3Mn2	CW400J	–	510 – 680	400 –600	5 – 12	150 – 200	–	90
		CuNi10Zn42Pb2	CW402J	C79800	510 – 590	350 – 450	5 – 12	160 – 190	A / A*	80
		CuNi12Zn30Pb1	CW406J	C79300	420 – 650	280 – 600	8 – 20	130 – 180	A / A*	70
	Bakır-kalay-çinko alaşımları	CuSn4Zn4Pb4	CW456K	C54400	450 – 720	350 – 680	10	150 – 210	–	80
	Bakır-kalay alaşımı	CuSn5Pb1	CW458K	C53400	450 – 720	350 – 680	10	150 – 210	–	70
	Kurşunlu ikili bakır-çinko alaşımları	CuZn35Pb2	CW601N	C34200	330 – 440	150 – 340	14 – 30	90 – 130	A	90
		CuZn36Pb2As	CW602N	C35330	280 – 430	120 – 200	15 – 30	80 – 110	–	80
		CuZn36Pb3	CW603N	C35600	340 – 550	160 – 450	8 – 20	90 – 150	A	100
		CuZn38Pb1	CW607N	C37000	360 – 550	150 – 420	8 – 25	90 – 150	A	80
		CuZn38Pb2	CW608N	C37700					A	90
		CuZn39Pb0,5	CW610N	C36500					A	70
		CuZn39Pb2	CW612N	–					A	90
		CuZn39Pb3	CW614N	C38500	360 – 550	150 – 420	8 – 20	90 – 150	A	100
		CuZn40Pb2	CW617N	C37700					–	90
		CuZn43Pb2Al	CW624N	–	as fabricated				–	80
	Çoklu bileşen bakır-çinko alaşımları	CuZn40Mn1Pb	CW720R	–	390 – 560	200 – 500	10 – 20	110 – 160	A	60
		CuZn21Si3P	CW724R	C69300	530 – 700	300 – 450	10 – 20		–	80*
Bakır Döküm Alaşımları	Bakır-kalay döküm alaşımı	CuSn11Pb2-C	CC482K	–	240 – 280	130 – 150	5	80 – 90	A	70
	Bakır-kalay ve bakır-kalay-çinko döküm alaşımları	CuSn3Zn8Pb5-C	CC490K	–	180 – 220	85 – 100	12 – 15	60 – 70	A	90
		CuSn3Zn9Pb7-C	–	C84400	200 – 234	–	16 – 26	55	–	90
		CuSn5Zn5Pb5-C	CC491K	C83600	180 – 220	85 – 100	12 – 15	60 – 70	A	90
		CuSn7Zn4Pb7-C	CC493K	C93200	230 – 260	120	12 – 15	60 – 70	A	90
		CuSn5Zn5Pb2-C	CC499K	–	200 – 250	90 – 110	6 – 13	60 – 65	–	90
	Bakır-kurşun ve bakır-kalay döküm alaşımları	CuPb10Sn10-C	CC495K	C93700	180 – 220	80 – 110	3 – 8	60 – 70	A	90
		CuSn7Pb15-C	CC496K	CC93800	170 – 200	80 – 90	7 – 8	60 – 65	A	90
	Bakır-çinko döküm alaşımları	CuZn33Pb2-C	CC750S	–	180	70	12	45 – 50	A	80
		CuZn39Pb1Al-C	CC754S	–	220 – 350	80 – 250	4 – 15	65 – 110	–	80
		CuZn16Si4-C	CC761S	C87800	400 – 530	230 – 370	5 – 10	100 – 150	A*	70*

** talaş kırıcı ile birlikte kesim takımı kullanılması tavsiye edilmez*

Tablo 9: *Standartlaştırılmış bakır-esaslı malzemelerin talaşlı imalata uygunluk sınıflandırması*
Talaşlı imalata uygunluk grubu I: Talaşlı imalata mükemmel uygunluğu olan bakır esaslı malzemeler.

Alaşım grubu II		Malzeme			Gerilim gücü R_m [N/mm²]	0,2% verim gücü $R_{p0,2}$ [N/mm²]	Kırık sonrası uzama A [%]	Sertlik [HB]	Takım geometrisi göstergesi	Talaşlı imalat düzeyi
		Gösterge	Sembol (EN)	Sembol (UNS)						
alloys bakır işlenmiş	Düşük alaşımlı bakır alaşımları, sertleştirilebilir soğuk iş ve çökelti-sertleştirmeli durumda	CuNi2SiCr	–	C81540	–	–	–	–	–	40*
		CuNi3Si1	CW112C	C70250	700 – 800	630 – 780	10	180 – 200	A*	40*
	Bakır-nikel-çinko alaşımları	CuNi18Zn19Pb1	CW408J	C76300	420 – 650	280 – 600	8 – 20	130 – 180	A / A*	60
	İkili bakır-çinko alaşımları	CuZn40	CW509L	C28000	340	260	25	80	A*	40
	Kurşunlu ikili bakır-çinko alaşımları	CuZn37Pb0,5	CW604N	C33500	300 – 440	200 – 320	10 – 45	55 – 115	A	60
	Çoklu-bileşen bakır-çinko alaşımları	CuZn31Si1	CW708R	C69800	460 – 530	250 – 330	12 – 22	115 – 145	A*	40
		CuZn35Ni3Mn2AlPb	CW710R	–	490 – 550	300 – 400	10 – 20	120 – 150	A*	50
		CuZn37Mn3Al2PbSi	CW713R	–	540 – 640	280 – 400	5 – 15	150 – 180	A / A*	50
		CuZn38Mn1Al	CW716R	–	210 – 280	–	10 – 18	120 – 150	A*	40
		CuZn39Sn1	CW719R	C46400	340 – 460	170 – 340	12 – 30	80 –145	A*	40
		CuZn40Mn2Fe1	CW723R	–	460 – 540	270 – 320	8 – 20	110 – 150	A*	50
alloys casting bakır	Bakır-alüminyum döküm alaşımları	CuAl10Ni3Fe2-C	CC332G	–	500 – 600	180 – 250	18 – 20	100 – 130	C*	50
		CuAl10Fe5Ni5-C	CC333G	C95500	600 – 650	250 – 280	7 – 13	140 – 150	–	50
	Bakır-kalay döküm alaşımları	CuSn12-C	CC483K	C90800	260 – 300	140 – 150	5 – 7	80 – 90	A*	50
		CuSn12Ni2-C	CC484K	C91700	280 – 300	160 – 180	8 – 12	85 – 95	A	40
	Bakır-çinko döküm alaşımları	CuZn32Al2Mn2Fe1-C	CC763S	–	430 – 440	150 – 330	3 – 10	100 – 130	A*	40*
		CuZn34Mn3Al2Fe1-C	CC764S	–	600 – 620	250 – 260	10 – 15	140 – 150	A*	40*
		CuZn37Al1-C	CC766S	–	450	170	25	105	A*	40
		CuZn38Al-C	CC767S	–	380	130	30	75	A*	40

** kesim takımının talaş kırıcıyla birlikte kullanılması tavsiye edilir*

Tablo 10: *Standartlaştırılmış bakır esaslı malzemelerin talaşlı imalat sınıflandırması*
Talaşlı imalat grubu II: İyi ile ılımlı arası talaşlı imalat özellikleri olan bakır esaslı malzemeler

Alaşım grubu III		Malzeme			Gerilim gücü R_m [N/mm²]	0,2% Verim gücü $R_{p0,2}$ [N/mm²]	Kırık sonrası uzama A [%]	Sertlik [HB]	Takım geometri göstergesi	Talaşlı imalat düzeyi
		Göstergesi	Sembol (EN)	Sembol (UNS)						
alloys bakır işlenmiş	Bakır	Cu-OFE	CW009A	C10100	200 - 350	120 - 320	5 - 35	35 - 110	C*	20
		CuAg0,10	CW013A	C11600	200 - 350	120 - 320	5 - 35	35 - 100	C*	20
		CuAg0,1P	CW016A	-	260	220	-	12	C*	20
		Cu-HCP	CW021A	-					C*	20
		Cu-DHP	CW024A	C12200	200 - 350	80 - 330	5 - 35	35 - 110	C*	20
	Düşük alaşımlı bakır alaşımları, sertleştirilebilir, çözelti-lehimli, soğuk iş ve çökelti sertleştirmeli	CuBe1,7	CW100C	C17000	-	-	-	-	A	20
		CuBe2	CW101C	C17200	1150 - 1300	1000 - 1150	2	320 - 350	A	30
		CuCo2Be	CW104C	C17500	700 - 800	630 - 730	5	200 - 220	A	30
		CuCr1Zr	CW106C	C18150	400 - 470	310 - 380	8 - 12	135 - 180	A*	30
		CuNi1Si	CW109C	-	500 - 590	420 - 570	10 - 12	140 - 160	A*	30
		CuNi2Be	CW110C	C17510	700 - 800	630 - 730	5	200 - 220	-	30
		CuNi2Si	CW111C	C64700	550 - 640	430 - 620	10	155 - 180	B*	30
		CuZr	CW120C	C15000	280 - 350	180 - 260	18 - 20	90 - 130	-	20
	Düşük alaşımlı bakır alaşımları, sertleştirilebilir, çözelti-lehimli, soğuk iş	CuBe2	CW101C	C17200	580 - 650	450 - 500	8 - 10	155 - 240	B / B*	20
		CuCo2Be	CW104C	C17500	400 - 500	330 - 430	8 - 10	110 - 175	B	30
		CuNi1Si	CW109C		300 - 410	210 - 320	9 - 16	85 - 150	B*	20
		CuNi2Si	CW111C	C64700	320 - 410	230 - 370	8 - 15	90 - 165	A*	30
		CuNi3Si1	CW112C	C70250	450 - 580	390 - 550	8 - 10	135 - 210	A	30
	Düşük alaşımlı bakır alaşımları, sertleştirilebilir, çözelti - lehimli	CuCr1Zr	CW106C	C18150	200	60	30	65 - 90	B*	20
	Düşük alaşımlı bakır alaşımları - yaşlandırma ile sertleştirilemez	CuSi3Mn1	CW116C	C65500	380 - 900	260 - 890	8 - 50	85 - 210	-	30
		CuSn0,15	CW117C	C14200	250 - 420	320 - 490	2 - 9	60 - 120	-	20
	Bakır-alüminyum alaşımları	CuAl10Fe3Mn2	CW306G	-	590 - 690	330 - 510	6 - 12	140 - 180	-	30
		CuAl10Ni5Fe4	CW307G	C63000	680 - 740	480 - 530	8 - 10	170 - 210	-	30
	Bakır-nikel alaşımları	CuNi25	CW350H	C71300	290	100	-	70 - 100	-	20
		CuNi10Fe1Mn	CW352H	C70600	280 - 350	90 - 150	10 - 30	70 - 100	A / A*	20
		CuNi30Mn1Fe	CW354H	C71500	340 - 420	120 - 180	14 - 30	80 - 110	A / A*	20
	Bakır-nikel-çinko alaşımları	CuNi12Zn24	CW403J	C75700	380 - 640	270 - 550	5 - 38	90 - 190	A / A*	20
		CuNi18Zn20	CW409J	-	400 - 650	280 - 580	11 - 35	100 - 210	A / A*	20
	Bakır-kalay alaşımları	CuSn4	CW450K	C51100	320 - 450	140 - 160	55	80 - 130	-	20
		CuSn5	CW451K	C51000	330 - 540	220 - 480	20 - 45	80 - 170	-	20
		CuSn6	CW452K	C51900	340 - 550	230 - 500	4 - 35	15 - 45	A*	20
		CuSn8	CW453K	C52100	390 - 620	260 - 550	15 - 45	90 - 190	A*	20
		CuSn8P	CW459K	-	390 - 620	260 - 550	15 - 45	90 - 190	A*	30
	İkili bakır-çinko alaşımları	CuZn5	CW500L	C21000	240 - 350	60 - 310	15 - 30	55 - 115	A*	20
		CuZn10	CW501L	C22000	270 - 380	80 - 350	14 - 28	60 - 125	A*	20
		CuZn15	CW502L	C23000	290 - 430	100 - 390	12 - 27	75 - 135	A*	30
		CuZn20	CW503L	C24000	300 - 450	110 - 410	10 - 27	80 - 140	B*	30
		CuZn28	CW504L	-	310 - 460	120 - 420	10 - 27	85 - 145	B*	30
		CuZn30	CW505L	C26000					B*	30
		CuZn33	CW506L	C26800					B*	30
		CuZn36	CW507L	C27200	310 - 440	120 - 400	12 - 30	70 - 140	A / B*	30
		CuZn37	CW508L	C27400					A / B*	30
	Çoklu-bileşen bakır-çinko alaşımları	CuZn20Al2As	CW702R	C68700	340 - 390	120 - 150	40 - 45	65 - 95	A	30
		CuZn28Sn1AS	CW706R	C44300	320 - 360	100 - 140	45 - 55	60 - 110	A*	30
alloys casting bakır	Bakır-alüminyum döküm alaşımları	CuAl10Fe2-C	CC331G	C95200	500 - 600	180 - 250	15 - 20	100 - 130	B*	20
	Bakır-nikel döküm alaşımları	CuNi10Fe1Mn1-C	CC380H	C96200	280	100 - 120	20 - 25	70	A*	20
		CuNi30Fe1Mn1NbSi-C	CC383H	C96400	440	230	18	115	A*	20
	Bakır-çinko döküm alaşımları	CuZn25Al5Mn4Fe3-C	CC762S	C86100	440	450 - 480	5 - 8	180 - 190	A*	30*

* talaş kırıcının kesim takımıyla kullanılması tavsiye edilir

Tablo 11: *Standartlaştırılmış bakır esaslı malzemeleri talaşlı imalat sınıflandırması*

Talaşlı imalat grubu III: Ilımlı ile zayıf arası talaşlı imalat özellikleri olan bakır esaslı malzemeler

5 Kesici takım malzemeleri

Bakır ihtiva eden malzemelerin talaşlı imalatında yüksek hız çeliği (HSS), kaynaşık karbürler ve sentetik elmas malzemeden yapılan takım malzemeleri kullanılır. Sıradan karbon çelikli takım malzemeleri kullanılamazlar.

5.1 Yüksek hız çeliği

Yüksek-hız çeliği (HSS) yüksek düzeyde alaşımlanmış takım çelikleridir. Yüksek hız çelikleri, diğer malzemelere nispeten yüksek yıpranma direnci ve iyi bir sıcak sertliği veren yüksek karbür konsantrasyonu içermelerinden ötürü diğer çelik türlerinden farklılık gösterir. Başlıca alaşımlama elementleri tungsten, molibdenum, vanadyum, kobalt ve kromdur. Yüksek hızlı çeliklerin sertliği, hem temel malzemenin – martensit - sertliğinden hem de karbür bulunmasından etkilenir. HSS'nin lehimleme direnci, matrikste çözünen elementlerin alaşımlanmasıyla tespit edilir.

Yüksek hızlı çeliklerine belirli bir programa göre sembol atanır: "HS" sembolüyle ve ardından gelen tungsten, molibdenum, vanadyum ve kobalt yüzdesi içeriğiyle tanımlanır. Örneğin HS18-1-2-10 takım çeliği %18 W, %1 Mo, %2 V ve %10 Co içerir. "HSS", "HSS-Co" gibi semboller yada imalatçıya özel olan diğer semboller, HSS düzeyinin bileşimi belirgin bir biçimde belirtilmedikçe çok az önemlidir.

Konvansiyonel yollarla üretilen, bakır ve bakır alaşımlarını talaşlı imalattan geçirmek için kullanılan yüksek hız takım çelikleri, % 12'nin üzerinde tungsten konsantrasyonlarıyla tungsten-alaşımlı çeliklere ayrılır:

Sembol ataması DIN EN ISO 4987'ye göre	No.
a) HS18-1-2-10	1.3265
b) HS18-1-2-5	1.3255
c) HS18-0-1	1.3355
d) HS12-1-4-5	1.3202
e) HS12-1-4	1.3302
f) HS12-1-2	1.3318
ve molibdenum-alaşımlı çelikler:	
g) HS10-4-3-10	1.3207
h) HS2-9-1-8	1.3247
i) HS6-5-2-5	1.3243
j) HS2-9-1	1.3346
k) HS2-9-2	1.3348
l) HS6-5-3	1.3344
m) HS6-5-2C	1.3343

Sıcak sertliklerini ve lehimleme dirençlerini artırmak için bazen bu çeliklere Kobalt (Co) eklenirken vanadyum (V) da yıpranma direncini artırmak için eklenir. HS6-5-2C (malzeme no. 1.3343) gibi bu çeliklerden bazılarının takım ömrünü uzatmak için daha yüksek karbon içeriği bulunmaktadır.

Yüksek hız çeliği HS10-4-3-0 (malzeme no. 1.3207; yukarıdaki listeye bakınız) birçok uygulama için tavsiye edilebilir çünkü yüksek sıcak sertlik ve iyi bir yıpranma direnci, dolayısıyla da daha uzun takım ömrü göstermektedir. Ancak eğer talaşlı imalat süreci veya takım geometrisi daha sert bir kesim takım malzemesini gerektiriyorsa farklı bir HSS seçilmelidir. Konvansiyonel yüksek-hızlı çeliklerden en serti HS2-9-1 alaşımıdır (malzeme no. 1.3346), zaten bunun için küçük bükümlü delgiler, uç freze kesiciler, v.s. genellikle bundan veya benzeri HSS'den imal edilir. Freze kesicileri ve karşı öbekler öncelikle HS6-5-2'den (malzeme no. 1.3243) üretilir, raybalar da genellikle HS6-5-3'ten (malzeme no. 1.3344) yapılır.

Konvansiyonel metalurjik süreçlerle üretilen yüksek hız çeliklerine ilaveten toz metalurjisiyle (PM) üretilen HSS malzemeleri de ticari olarak mevcuttur. Konvansiyonel yollarla üretilen HSS malzemelerle karşılaştırıldığında PM tarafından üretilenler genelde daha büyük ölçüde alaşımlama göstermektedir. Mikro yapı içerisindeki karbür parçacıklarının çok daha iyi dağılımından ötürü PM HSS alaşımlarının, konvansiyonel metalurjik tekniklerle üretilen HSS tiplerine göre önemli ölçüde daha iyi kesici kenar sertliği bulunmaktadır. İnce dane yapısından ve ayrışma dizinlerinin bulunmamasından ötürü bunları taşlaması daha kolaydır. Bu iki faktörün her ikisi de kılavuz çekme, profil raybalama, dişli azdırma ve dişli şekillendirme gibi zor talaşlı imalat işlemlerini yaparken takım ömrünü geliştirmeye yardımcı olur. Kesici malzemenin kenar gücü bu gibi işlemlerde önemli bir faktördür çünkü talaş akışı genellikle kısıtlıdır yada kesici kenar birden çalışma malzemesine girer. Bu uygulamalarda toz metalurjik yöntemlerle üretilen yüksek hızlı takım çelikleri tercih edilir.

5.2 Karbürler

Karbürler, içine karbürlerin (WC, TiC, TaC, v.s.) yerleştirildiği metalik bağlayıcı (olağan olarak kobalt) içeren sinterlenmiş kompozit malzemelerdir. Bağlayıcının fonksiyonu, nispeten güçlü bir katı madde oluşturacak şekilde kırılgan karbür parçacıklarını birbirine bağlamaktır. Karbürlerin fonksiyonu yüksek sıcak sertliği ve yıpranma direnci olan bir malzeme oluşturmaktır.

Bakır alaşımları, kaplamasız WC-Co kaynaşık karbürlerden yapılan takımlar kullanarak yada kaplamalı karbür takımlar kullanarak talaşlı işlemden geçirilir. İki aşamalı düz WC-Co karbürleri münhasıran kobalt (Co) bağlayıcıya yerleşik sert tungsten karbür (WC) tanecikleri içerir. Alaşımlı WC-Co karbürlerinde WC'nin bir kısmı, vanadyum karbür (VC), krom karbür (Cr_3C_2) veya tantalyum/niyobyum karbür ((Ta, Nb)C) ile yer değiştirir. WC-Co karbürleri yüksek aşınma direnci niteliği taşır. Çeşitli düzeylerde mevcut WC-Co karbürleri, kobalt bağlayıcının nispi içeriği ve tungsten karbür taneciklerinin ebadı yönünden farklılık gösterir. Kobalt içeriğinin artmasıyla kaynaşık karbürün sağlamlığı da sertlik ve yıpranma direnci pahasına artar. Sonlandırma ve yarı-pürüzlendirme işlemleri için kullanılan kaplanmamış karbürler normalde %6 civarında kobalt (WC-6Co) içerir. Daha yüksek kobalt içeriği (örn. WC-9Co) olan daha sağlam kaynaşık karbürler pürüzlendirme işlemlerinde veya kesintili kesimlerde kullanılır.

WC tanecik büyüklüğü itibarıyla 0.8-1.3 µm ortalama tanecik büyüklüğü olan konvansiyonel ince tanecikli karbürler ile en ince tanecikli karbürler (0.5-0.8 µm) ve aşırı ince tanecikli karbürler (0.2-0.5 mm) arasında bir ayrım yapılır. Eğer kobalt bağlayıcı içeriği sabit kalırsa WC tanecik büyüklüğünün düşürülmesi, sertlikte ve çapraz kırık gücünde artışa yol açar. Yüksek kaliteli en ince tanecik ve aşırı ince tanecikli karbürler konvansiyonel ince tanecikli karbürlerle karşılaştırıldığında üstün sertlik, kenar gücü ve sağlamlık gösterir [21].

Bu yüksek performanslı karbürler olağan olarak delgi veya uç frezeleme kesiciler gibi biçimlendirme takımlarının üretiminde kullanılır. Torna faaliyetlerine yönelik kesim parçaları genelde 0.8 mm'den daha büyük tanecik büyüklüğü olan ince tanecikli karbürden yapılır.

DIN ISO 513 standardına göre bakır esaslı çalışma malzemeleri, 'N' ana uygulama grubundadır (Şekil 19'a bakınız). Ana uygulama gruplarının her biri (DIN ISO 513 toplam altı ana gruba ayırır) ayrıca uygulama gruplarına da ayrılır (Şekil 19'a bakınız). 'N' harfinden sonra gelen sayı, kesici takım malzemesinin yıpranma direncini ve sağlamlığını belirtir. Bu sayı ne kadar yüksekse sağlamlık da o kadar yüksek ve dolayısıyla kesici malzemenin yıpranma direnci de o kadar düşük olacaktır. Karbür imalatçıları, her bir kaplamalı veya kaplamasız karbürün münhasır özelliğine bağlı olarak kendi farklı karbür düzeylerini bir yada daha fazla uygulama grubuna tahsis ederler. Kaplamalı ve kaplamasız karbürlere sırasıyla 'HW' ve 'HC' harf kodları verilir. Bu sembollerin örnekleri: HW-N10 veya HC-N20.

N10 uygulama grubundaki karbürler, bakır-esaslı malzemeleri talaşlı imalattan geçirirken en geniş uygulama aralığını ortaya koymaktadır. Eğer talaşlı imalat işleminde, örneğin geometrik karmaşıklığı olan takımlar tornadan geçirilirken veya torna yöntemiyle geniş bir bölgede veya kesintisiz kesimde kesilmemiş talaş oluşuyorsa gelişmiş sağlamlığı olan bir takım malzemesi gerekirse N15 N20 uygulama gruplarındaki karbürler tercih edilir. N10 karbürleriyle karşılaştırıldığında N15-N20 karbürleri daha yüksek kobalt içeriğine sahiptir ve böylece daha sağlamdır.

Kaplamalar
Kesim takımlarının (kaynaşık karbür) performansı, kaplama yoluyla daha da geliştirilebilir. Kaplamalar, yüksek-hızlı talaşlı imalatı mümkün hale getirir ve takım ömrünü ciddi ölçüde uzatabilir. Kaplamalı karbürler, hem sağlam hem de yıpranma dirençli kesim takımlarının geliştirilmesinde kilometre taşı olmuştur. En önemli kaplama malzemeleri titanyum karbür (TiC), titanyum nitrit (TiN), titanyum alüminyum nitrit (TiAIN), alüminyum oksit (Al2O3), titanyum karbonitrit (TiCN), elmas benzeri karbon (DLC) ve elmas. Kaplama malzemesini değiştirmek suretiyle kaplama katmanının yapısı, kalınlığı ve kullanılan kaplama yöntemi, kaplanan malzemenin özellikleri de belirli bir talaşlı imalat görevine uyacak şekilde ayarlanabilir.

Kaplamalı takımlar, artan yıpranma direncinden ve azalan arayüz yapışmasından ötürü daha az yıpranma gösterir. Bunlar aynı zamanda yayılım bariyeri olarak hareket eder ve takımın termal ve kimyasal stabilitesini geliştirir. Kesim malzemeleriyle birlikte kullanılan N ana grubu kaplamaları arasında TiAlN, TiN, AlCrN, CrN, AlTiCrN, DLC
(a-C:H, a-C:Me) ve elmas kaplamalar bulunur.

5.3 Kesici malzeme olarak elmas
Elmas, saf karbondan oluşur ve bilinen malzemelerin en sertidir. Ancak aşırı sertliği, çok kırılgan ve dolayısıyla da etkiye ve termal baskıya karşı çok hassas hale getirir. Bu özellikler elmasın kesici malzeme olarak uygulandığı alanları etkin bir biçimde tanımlamaktadır. Talaşlı imalat işlemlerinde hem doğal hem de sentetik elmaslar kullanılır. Hem monokristalin (DIN ISO 513 kod: DM) hem de polikristalin elmas (DIN ISO 513 kod: DP) kullanılır. Polikristalin elmasından imal edilen takımlara atıfta bulunurken PCD kısaltması da çok sık kullanılır.

Monokristalin elmasları özellikle hassas talaşlı imalat işlemleri için uygundur ve aşırı-hassas talaşlı imalatta yaygın biçimde kullanılır.

Başlıca uygulama grupları			**A Uygulama grupları**			
Kod harfi	Renk kodu	Çalışma parçası malzemesi	Sert kesim malzemeleri			
N	yeşil	**demir dışı metaller:** alüminyum ve diğer demir-dışı metaller, metal-dışı malzemeler	N01 N10 N20 N30	N05 N15 N25	↑	↓
↑ kesim hızının artırılması takım malzemesinin yıpranma direncinin artırılması						
↓ kesim hızının artırılması takım malzemesinin yıpranma direncinin artırılması						

Şekil 19: Sert kesim malzemelerinin N ana uygulama grubu (DIN ISO 513)

PCD takımları, hem hassas talaşlı imalat hem de pürüzleştirme işlemlerinde kullanılır. Bazı uygulamalarda pürüzlü talaşlı imalat ve sonlandırıcı talaşlı imalat aşamaları tek bir aşamada birleştirilebilir [22].

5.4 Kesici malzemenin seçilmesi

Kesici malzemenin maliyet etkinliği birkaç faktöre bağlıdır. Eğer kesilmemiş talaşın kalınlığı üzerinde hiçbir kısıtlanma uygulanmazsa birim zaman başına talaşlı imalattan geçirilen çalışma parçalarının sayısı kullanılan kesim malzemesine bağlıdır ve ürün ● v_c ile verilir ki burada h kesilmemiş talaşın kalınlığı, v_c ise uygulanabilir kesim hızıdır.

Eğer daha büyük miktarlarda stok kaldırılacaksa, her ne kadar takım malzemesi seçimine bir miktar bağlı olsa da takım verimliliğini etkileyen a_p kesiminin derinliği başka bir unsurdur.

Neredeyse tüm uygulamalarda kesim derinliği a_p, stok toleransıyla sabitlenirken kesilmemiş talaş h'nin kalınlığı ve/veya f ilerlemesi, kullanılan kesim malzemesine bakılmaksızın makine / çalışma parçası / takım sistemi sertliğiyle veya talaşlı imalattan geçen yüzeyin pürüzlülüğüne dair belli özelliklerle sınırlanır. Bu gibi durumlarda kesim malzemesinin etkisi sadece v_c kesim hızının üzerindeki etkisiyle kısıtlanır.

Kesim malzemesi tercihini etkileyen başka bir unsur da takım ömrü başına maliyettir ve VDI Kuralları 3321'e göre aşağıdaki yaklaşık değer elde edilebilir:

$$K_{WT} = \frac{K_{Wa}}{n_T} + K_{Ww} \cdot \left(+K_{Ws}\right) \quad (22)$$

burada:

K_{WT} Takım ömrü başına € maliyet

K_{Wa} Takımın € satınalma fiyatı

n_T Takım başına takım ömrü sayısı (katı şaft takımları veya lehimlenmiş parçalar için: n_T = yeniden taşlama sayısı; endekslenebilir kesim parçaları için; n_T = parça başına kesim kenarı sayısı)

K_{Ww} Yıpranmış takımın değiştirilmesiyle bağlantılı € maliyet

K_{Ws} Takımın yeniden bilenmesi için € maliyet (endekslenebilir parçalar kullanılması halinde geçerli değildir)

Denklem 22, K_{Wa} takımını satınalma maliyetinin olağan olarak takımın servis ömrüyle bağlantılı toplam K_{WT} maliyetinin küçük bir kesitini temsil ettiğini gösterir. Diğer iki terim genellikle daha büyüktür.

Bir parçanın üretimiyle bağlantılı takım maliyetleri aşağıdaki denklemle verilmiştir:

$$K_W = \frac{K_{WT}}{n_{WT}} \quad (23)$$

burada:

K_W Bir parçayı imal etmenin toplam € maliyeti

n_{WT} Tek bir takım ömründe talaşlı imalattan geçirilen parça sayısı

Tek bir parça imalat etmenin toplam maliyeti aşağıdaki gibidir:

$$K_1 = t_{h1} \cdot R + K_{fix} + K_W = K_{th1} + K_{fix} + K_W \quad (24)$$

burada:

K_1 Birim üretim başına toplam € imalat maliyeti

t_{h1} Dakika olarak parça başına talaşlı imalat süresi

K_{fix} € olarak sabit maliyet (kesim hızı v_c 'den bağımsız)

K_{th1} € olarak talaşlı imalat maliyeti

R İşçilik / tezgah işletme maliyeti (takım maliyetleri hariç), €/dak.

Doğru tipte kesim takımı malzemesini seçmek için bu türden değerlendirmeler yapmak gereklidir.
Örneğin yüksek satınalma fiyatı olan bir takım, ya servis ömrü boyunca daha çok parça üretebildiği (daha yüksek n_{WT} değeri) yada aynı sayıda parçanın daha hızlı bir sürede talaşlı imalattan geçirilmesine imkan verdiği için birim imalat maliyetlerini ciddi ölçüde düşürebilir.

Bu gibi değerlendirmeler genelde bizi kaynaşık karbür kesim takımlarının (olağan olarak N10 kalitesinde karbür) HSS takımlarına göre daha çok tercih edilebilir olduğu sonucuna götürür. Aslında karbür, kesim hızı kısıtlamaları birim zaman başına üretilen parça sayısı HSS takımıyla elde edilebilenden daha büyük olsa bile tercih edilen malzeme olarak seçilebilir. Bunun nedeni bir karbür takımının servis ömrünün uzun olmasının daha çok sayıda parçanın tek bir takım ömründe talaşlı imalattan geçirilebileceğine imkan vererek Denklem 23'teki n_{WT} değerini artırmasıdır. Eğer endekslenebilir kesim parçaları kullanılırsa Denklem 22Deki üçüncü terim olan K_{Ws} sıfırdır ve Denklem 24 ile verilen birim üretim maliyetini düşürür.

Kesici malzeme olarak karbür uygulanmasını sınırlayan unsurlar genellikle takım geometrisiyle ilişkilidir. Geometrik olarak karmaşık takımlar normalde aşırı sağlam kesim malzemelerinden yapılmalıdır. Kaynaşık karbürler genellikle bu gereklilikleri karşılayamaz yada karbürden karmaşık bir takım şekli üretmenin maliyeti yasaklanacak kadar pahalı gelebilir. Kılavuz açmak, işlemin sonunda kılavuzun delikten sökülmesi gerekeceği için takım malzemesinin sağlamlığına yüksek talep getiren kesim faaliyetine bir örnektir. Sonuçta elde edilen sürtünme kuvveti, takımın kesici kenarlarında yüksek gerilimli baskı oluşturabilir. Bu nedenle kılavuzlar olağan olarak HSS'de üretilir.

6 Kesici takım geometrisi

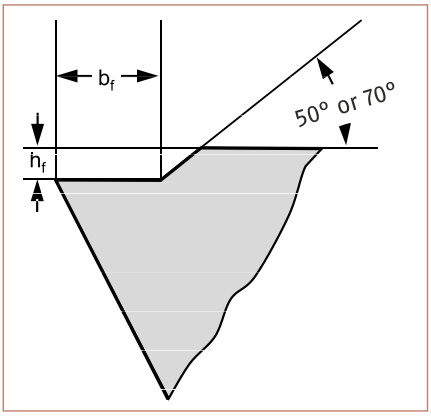
6.1 Kesme ve talaş kaldırma açısı
Bakır alaşımlarının talaşlı imalata uygunluğundaki büyük farklılaşmalardan ötürü kesim takımının geometrisi, işlenecek parçanın belirli niteliklerini karşılayacak şekilde ayarlanmalıdır. Uygun talaş biçimi elde edebilmek için takım geometrisinin çalışma parçasına uygun şekilde ayarlanması önerilir. Başlıca talaşlı imalata uygunluk grupları I-III'e dayalı olarak takım geometrisini kategorilere ayırmak takım geometrisini sınıflandırmak için bu üç ana grup ayrıca A, B ve C harf kodlarına da bölünür (Tablo 12'ye bakınız). Aşağı yukarı sabit kesici kenar geometrisine sahip kesim takımlarında (örn. freze kesiciler) DIN 1836 standardı, kesici diş biçimleri H, N ve W arasında ayrım yapar. Diş şekli H, yaklaşık olarak A sınıfına, diş şekli N ise B sınıfına ve diş şekli W de C sınıfına karşılık gelir.

Bakır esaslı malzemelere tahsis edilen takım geometrisi göstergeleri, Tablo 9 ve Tablo 11'de belirtilmektedir. Bakır alaşımının talaşlı imalata uygunluğu da bu nedenle şu örnekte olduğu gibi sınıflandırılabilir: Malzeme CuZn39Pb3 = I.A. 100 (I: talaşlı imalata uygunluk ana grubu / alaşım tipi, A: takım geometrisi göstergesi, 100: talaşlı imalata uygunluk düzeyi).

Bakır ve bakır alaşımları, uzun biçimli talaşlar oluşturma eğilimi göstermiştir. Sonuçta elde edilen bant ve iç içe talaşlar, makine operatörü için tehlikeli olabilir ve talaşlı imalat sürecini kesintiye uğratabilir. Bu malzemeler üzerinde sürekli torna işlemi yapılırken talaşları daha kısa sargılı talaşlar halinde şekillendirmek gerekir. Bu da talaş 0.2-0.3 mm civarında bir asgari kalınlığa ulaşır ulaşmaz talaş kırıcı kullanmak suretiyle elde edilebilir. Takım kırıcısı olan takımların takım geometrisi kodları, Tablo 12'de bir yıldız işaretiyle belirtilmektedir (A*, B*, C*). Tablo aynı zamanda talaş kırıcı arka duvarının açısını da belirtmektedir.

Talaş kırıcılar, talaş sıkıştırmasının kapsamını artırarak daha yüksek talaşlı imalat kuvvetini destekler ve takım ömrünü kısaltır. Talaş malzemesi ne kadar sağlamsa veya biçim bozulmasının kapsamı ne kadar büyükse bu etkinin telafuzu da o kadar çok olacaktır.

Talaşın biçim bozulması düzeyi, talaş kırıcı unsurun enine ve etkili tarak yüzüyle talaş kırıcının arka duvarı arasındaki mesafeye bağlıdır [23]: talaş kırıcı unsur ne kadar derinse ve arka duvar ne kadar dikse o kadar çok talaş sıkıştırılacaktır. Genel bir kural olarak 0.8 mm'lik talaş kırıcı yüksekliği ve arka duvar ile takımın etkili tarak yüzü arasında 70° yada 50° açı tavsiye edilir. Kesim takımının tarak yüzü ile talaş kırma unsurunun arka duvarı arasındaki şerit, kabaca 0.3-0.5 mm aralığında bir yarıçapa sahip olmalıdır. Talaş kırma unsurunun eni, öncelikle kesilmemiş h talaşının kalınlığıyla tespit edilir ki bu da f ilerlemesi ve takım kesim kenarı açısı κ_r ile($h = f \bullet \sin \kappa_r$), ve daha az ölçüde kesilmemiş talaş b'nin eniyle tespit edilir. Geniş talaş geniş bir talaş kırıcı gerektirir. Genellikle aşağıdaki yaklaşık kurallar geçerlidir [23]:



Şekil 20: *Takıma takılı bir talaş kırıcı unsur üzerinden çapraz kesit*

mm olarak biçimi bozulmamış talaş eni b	mm olarak talaş kırıcı eni b_f
0,4 … 1,5	5 * h
1,6 … 7	8 * h
7,5 … 12	12 * h

Talaş kırıcı aynı zamanda takımın kesim kenarına paralel olarak da hizalanabilir yada takımın burnuna doğru genişleyecek veya daralacak şekilde de hizalanabilir.

Kesim kenarına paralel giden talaş kırıcılar (hizalama açısı = 0°) talaş akışını çalışma parçasına doğru yada onun uzağına yönlendirme eğilimi göstermez ve bu nedenle saat-yay benzeri helezon talaşların oluşumunu tercih eder. Eğer talaş kırıcının eni, takımın burnuna doğru azalırsa (hizalama açısı > 0°) talaş akışı, çalışma parçasından uzaklaştırılarak silindirik talaş oluşumunu destekler.

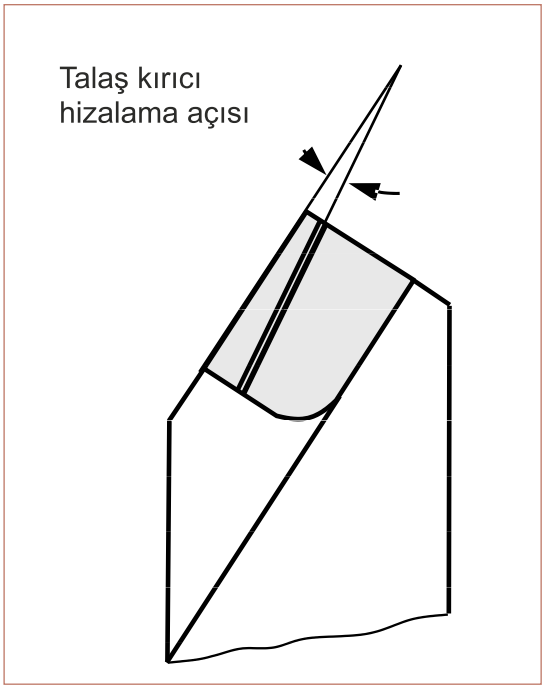
Eğer talaş kırıcı, takımın burnuna doğru genişleyecek şekilde tasarlanmışsa (hizalama açısı < 0°) talaş akışının doğrultusu çalışma parçası yüzeyine doğrudur; bu da talaşın çok oluklu olmaması kaydıyla kısa talaş kıvrımları

Takım geometrisi göstergesi	Karbür		HSS		Talaş kırıcının arka duvar açısı[1)]
	γ (°)	α (°)	γ (°)	α (°)	(°)
A A*	0 - 8	6	5 - 10	8	50
B B*	8 - 12	6	10 - 14	8	70
C C*	20	6	25	8	50 -70

1) Takım geometrisi göstergesinin ardından gelen * talaş kırıcısı olan takımı belirtir.

Not: Talaş kırıcı verileri sadece torna takımları veya tornaya yada delmeye yönelik endekslenebilir parçalar için geçerlidir; kesicilerin, delgi takımlarının, v.s. frezelenmesi için geçerli değildir.

Tablo 12: Takım geometrisi sınıflandırma programı



Şekil 21: Talaş kırıcının hizalanma açısı

oluşmasını destekler. Ancak talaşın yeni talaşlı imalattan geçirilmiş çalışma yüzeyini tahrip etmesi riski bulunmaktadır.

Talaş kırıcının etkinliği genellikle akan talaşın olukluluğuna bağlıdır ki bu da çalışma malzemesinin niteliklerine ve kesim talaşının boyutlarına bağlıdır; talaş ne kadar inceyse biçimini bozmak veya kırmak da o kadar zordur.

Eğer talaşlı imalat işleminin, çalışma yüzeyinin pürüzlülüğü yada çalışma parçasının veya takımın zayıflığı gibi birtakım yönleri, ince talaş üretilmesini zorluyorsa talaş oluşumu ve akışı, herhangi kesinlikle kontrol edilemez. Bu gibi durumlarda oluklu bakır-tabanlı malzemelerin talaşlı imalattan geçirilmesi neredeyse kaçınılmaz olarak iç içe talaş oluşumuna yol açacaktır. Bu tür talaşın neden olduğu işlemsel engellemeyi sınırlamak için talaşlı imalat sürecinin bu aşaması, ufak derinlikte bir kesim kullanılarak yapılmalıdır çünkü böylece en kısaltılmak suretiyle kesim talaşının gücü de düşürülecektir.

Yukarıdaki uyarılara rağmen ya faydasız (kesilmemiş talaşın kalınlığının küçük olması) yada yapay olacağı durumlarda talaş kırıcı gereksizdir çünkü talaşlı imalat işlemi (örneğin frezelemede olduğu gibi) kesintili kesimi içerir yada talaş, (delme veya kılavuz açmada olduğu gibi) kesim işleminin geometrisinin dikte ettiği belirli bir doğrultuda akmaya zorlar.

7 Kesme sıvıları

Bazı bakır esaslı malzemeler kuru olarak talaşlı imalattan geçirilirken diğerleri kesim sıvısı uygulamak suretiyle talaşlı imalattan geçirilir. Bazı makine takımlarında kesim sıvısı kullanmak temel önemdedir çünkü kesim sıvısı aynı zamanda makinenin parçalarını yağlama fonksiyonunu da görür.

Talaşlı imalat sırasında kesim sıvısı normalde takım, çalışma temas bölgesinde bulunan takım kesim kenarının hiçbir doğrudan etkisi olmayacak şekilde talaşın köküne nüfuz eder. Ancak kesim sıvısı, temas bölgesindeki süreçler üzerinde çalışma parçasını soğutma gibi dolaylı bir etkiye sahip olabilir ve takım, ısıyı çalışma takımı arayüzünden uzaklaştıran sıcaklık gradyanını artırır. Buna ek olarak kesim sıvısı, talaşın üst tarafını sıkıştırabilir ve dolayısıyla talaşın kıvrılmasını ve/veya kırılmasını kolaylaştırabilir. Son olarak kesim sıvısı aynı zamanda talaşlı imalat alanını da su ile temizler.

Bir kesim sıvısının daha çok soğutucu olarak mı yoksa makine yağı olarak mı işlev gördüğü, yapılmakta olan talaşlı imalat işlemine ve kullanılan kesim takımına bağlıdır. HSS takımları sadece kendi sertliklerini 550-600°C civarındaki tavlama sıcaklığına kadar koruyabildikleri için HSS ile talaşlı imalat yaparken kesim sıvıları öncelikle soğutucu olarak kullanılmaktadır. Bunun aksine karbür takımları, kendi sertliklerini daha yüksek sıcaklıklara kadar koruyabilir.

Eğer diğer yandan takımın, çalışma parçasıyla doğrudan temas içinde olan ancak malzeme çıkarma sürecine katkıda bulunmayan birkaç bölgesi bulunuyorsa (raybalarda ve kılavuzlarda olduğu gibi) kesim sıvısı, soğutucuya göre makine yağı olarak daha önemlidir.

Eğer makine takımı imalatçısı kullanılacak kesim sıvısını belirtmezse soğutmak temel amaç olduğunda genelde emülsiyonlaştırılmış yağlar tercih edilir.

Bu suda yağ emülsiyonlarının tercih edilen soğutma özellikleri, suyun belirli bir yüksek ısı kapasitesinden ötürüdür. Eğer her ne kadar makine yağlama başlıca endişe olsa da kesim sıvıları, emülsiyonlara tercih edilir. Düşük akışkanlıklı yağlar tercih edilir çünkü bunların sonuç vermesi ve kesim bölgesinden kaldırılması daha kolaydır.

İlave kükürtü olan kesim sıvıları, bakırla reaksiyona girme eğilimi gösterir. Bu nedenle ya kükürtsüz kesim sıvısı kullanılmalı yada talaşlı imalatın ardından çalışma parçası derhal durulanmalıdır [24].

Kesim sıvısı buharıyla (‘akıtma’) normal soğutma yağlamanın uygulanamadığı durumlarda sıvı, yüksek hızlı buğu olarak uygulanabilir.

Buğu uygulamasında kesim sıvısı, basınçlı hava buharıyla taşınır ve kesim bölgesinde saklanır. Hava akımının genişlemesine sıcaklık düşüşü eşlik eder ve bu da soğumaya yardımcı olur (örn. normalde emülsiyonlaştırılmış yağlarla çalışan çoklu istasyon makinelerinde kesme sıvısı kullanarak yiv kılavuzu açarken).

Konvansiyonel akıntı soğutmada bakır esaslı malzemeler de, asgari miktarda makine yağlama (MQL) sisteminin kullanıldığı yakın kurutma talaşlı imalata yada hiçbir kesim sıvısının kullanılmadığı kuru talaşlı imalat işlemine tabi tutulabilir [25]. Her iki yaklaşım da bakır alaşımlarının talaşlı imalattan geçirilmesinde teknolojik olarak fizibildir.

Pratikte hangi kesim sıvısının kullanılacağı sadece teknolojik fizibiliteye değil ama aynı zamanda talaş çıkarma, ısı yayılımı, makine parçalarının yağlanması ve talaş kırılmasını etkileme ihtimali gibi makine takımı ayarlarının belirlediği faktörlere de bağlıdır.

8 Talaşlı imalat maliyetlerinin hesaplanması

Bir defada sadece tek bir paremetrenin ayarlanması kaydıyla kesim parametreleri, sadece hesaplamalı yöntemler kullanılarak iyileştirilebilir [26]. Fakat uygulamada çoğu kez birkaç parametre eşzamanlı olarak değiştirilebilir, sadece matematiksel hesaplamalar ile iyileştirme yapılması pek mümkün değildir.

Bunların hangi parametreler olduğu, kullanılan belirli bir talaşlı imalat işlemine bağlıdır. Belirli bir stok toleransı ile sınırlanan kesim a_p derinliği yada genelde olduğu gibi makine takımının dönüş hızı aralığıyla ve talaşlı imalattan geçen parçanın çapıyla sınırlanan kesim hızı v_c olabilir. Bu gibi sabit parametrenin başka bir örneği de kullanım için seçilen freze kesicinin dişlerinin sayısıdır. Bu sabit değer parametreleri daha sonra hesaplamada olduğu uyarlanır.

Tespiti yapılmayan parametreler, geniş taylor takım ömrü denkleminde (Denklem 8) üslerinin büyüklüğünün artış hızıyla hesaplanır.

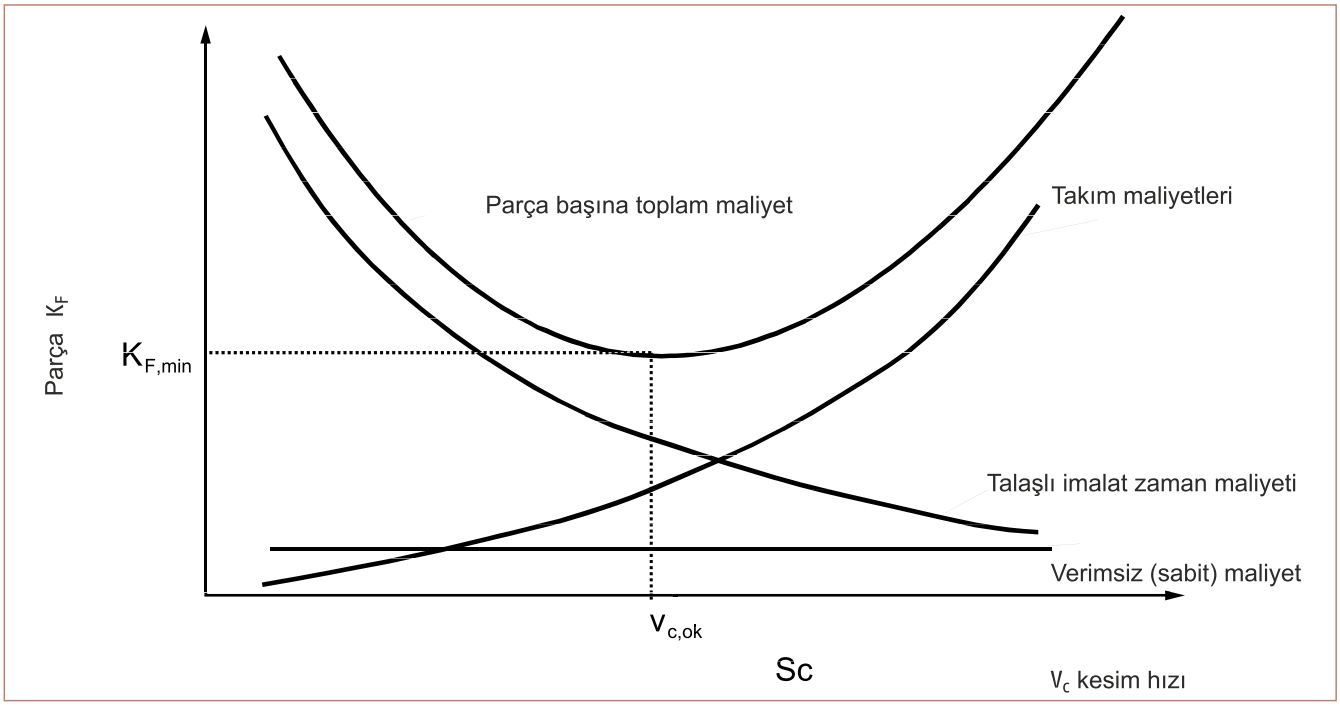
$$T = \frac{C_l}{a_p^{e_a} \cdot f^{e_f} \cdot v_c^{-k}} \qquad (8)$$

Bu da genellikle şu parametreler diziniyle sonuçlanır: kesim a_p derinliği; f ilerlemesi (veya kesilmemiş h talaşı kalınlığı); ve v_c kesim hızı.

Kesim a_p derinliği, tabii ki sabit parametre olarak tanımlanmaması (örneğin belirli bir stok toleransından kaynaklanması) kaydıyla optimizasyon sürecinin ilk aşamasında başlangıçta mümkün olduğunca geniş olarak seçilmelidir. Diğer a_p ayarlamaları daha sonra takımın, çalışma malzemesinin ve makine takımının sınırlamaları göz önünde bulundurularak düzene sokulur. Kesimin mümkün olduğunca en geniş derinliğinin seçilmesi, gerekli kesim sayısını azaltır. Kesim a_p başlangıç derinlik değerinin tespit edilmesiyle f ilerlemesi de mümkün olduğunca geniş olacak şekilde seçilebilir. Burada da seçilen değer takımla, çalışma malzemesiyle ve kullanılan makineyle ilgili faktörlerle sınırlı olacaktır. Dolayısıyla kesim parametrelerinin optimizasyonu, belirtilen T takım ömrünün bir fonksiyonu olarak v_c kesim hızının belirlenmesine indirgenmiştir. Genelde konuşacak olursak kesim hızıyla takım ömrü arasındaki ilişki, basit Taylor denklemi (Denklem 6) kullanılarak ifade edilebilir:

$$T = C_v \cdot v_c^{\,k} \qquad (6)$$

Olağan olarak kullanılan kesim hızları aralığında elde edilebilen T takım ömrü, v_c kesim hızının artmasıyla birlikte azalır ve tersi. Daha yüksek v_c değeri de t_h talaşlı imalat süresini kısaltacak ve dolayısıyla çalışma parçası başına talaşlı imalat süresini düşürecek fakat aynı zamanda T takım ömrünü azalttığı için K_W çalışma parçası başına takım maliyetini de azaltır. Bu iki maliyet ters yönde evrimleştiği için bunların çalışma parçası başına toplamı da belli bir v_{oK} kesim hızından geçer. Şekil 22, çeşitli maliyet bileşenlerinin, kesim hızının fonksiyonu olarak nasıl farklılaşacağını ve v_{oK} optimum maliyet kesim hızını nasıl belirleyeceğini göstermektedir. Bu v_{oK} optimum maliyet kesim hızından her türlü sapma, birim üretim maliyetini artıracaktır çünkü ya talaşlı imalat süresi yada takım maliyetleri yükselecektir.



Şekil 22: Kesim hızının fonksiyonu olarak yerleştirilen maliyet bileşenleri (VDI 3321)

T_{ok} optimum maliyetli takım ömrü, denklemler 6 ve 24'ün yardımıyla elde edilebilir. Farklılaşmayla ve yeniden düzenlemeyle Denklem 25 elde edilir:

$$T_{oK} = \frac{(-k-1)\cdot K_{WT}}{R} \quad (25)$$

burada:

T_{oK} = dak. olarak optimum maliyet takım ömrü

k = takım ömrü noktasında düz çizgi gradyanı

K_{WT} = Denklem 22'de tanımlandığı şekilde € cinsinden takım ömrü başına takım maliyeti

K_{ML} = €/saat cinsinden operatör başına maliyet düzeyi ve makine + işgücü ve talaşlı imalat genel giderleri

t_w = takım değişim süresi

Denklem 25, optimum maliyetli T_{oK} takım ömrünün nasıl -k ve K_{WT} takım ömrü başına takım maliyetlerine, K_{ML} operatör ile makinenin maliyet düzeyine (işgücü ve makine genel giderleri dahil) ve t_w takım değişim süresine bağlı olduğunu göstermektedir. -k değerinin büyüklüğü, çalışma malzemesi / takım malzemesi çiftine ve kullanımdaki talaşlı imalat işlemine bağlıdır.

-k değeri HSS takımlar ve çalışma malzemeleri için büyük, sinterlenmiş karbürlü takımlar ve çalışma malzemeleri için küçüktür.
Bu nedenle tüm diğer işleme parametreleri sabit olduğunda, işlenmesi zor bir çalışma parçası için daha büyük değerde T_{oK} optimum maliyet takım ömrüne ihtiyaç olacaktır.Ancak uygulamada bu gerekliliğin yerine getirilmesi her zaman mümkün değildir.

Eğer T_{oK} ve hesaplanmış değeri ve dolayısıyla v_{oK} uygulamada olağan olarak kullanılan takım ömrü aralığının dışında kalıyorsa belirli işletim şartları altında elde edilebilecek optimum değer, hesaplanmış ideal değere en yakın değer olmalıdır.

Genel bir kural olarak düşük değerli kesim parametreleriyle birlikte daha pahalı kesme takımları kullanılarak, makinede işletme ekonomikliği sağlanır. Diğer yandan işletme maliyeti daha pahalı olan makinelerde düşük maliyetli takımlar, maksimum düzeyde teknik olarak gerçekleştirilebilir kesim parametreleriyle birlikte kullanılabilir.

Optimum süreli v_{ot} kesim hızını yani çalışma parçası başına talaşlı imalat süresini en aza indiren kesim hızını belirlemek için benzeri hesaplamalar yapılabilir [26]. Genelde v_{oK} ile v_{ot} arasında ciddi bir farklılık olmadığı için bu konu burada daha ayrıntılı tartışılmayacaktır.

Eğer (muhtemelen farklı) birtakım takımlar bir parçayı talaşlı imalattan geçirmek için eşzamanlı olarak kullanılıyorsa denklem 25 değiştirilmelidir çünkü K_{WT} artık eşzamanlı kullanılan kesim takımlarının her biri için takım maliyetlerinin toplamını temsil etmektedir. T_{oK} optimum maliyet takım ömrü için hesaplanan değer de bu nedenle tek bir takımın kullanılmasına göre daha büyük olacaktır [27, 28].

9 Bakırın yüksek hassasiyetle talaşlı imalatı

Bakır, optik sistemlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bakırın yüksek hassasiyetle talaşlı imalattan geçirilmesiyle yüksek kaliteli ayna yüzeyli ve yüksek boyut tutarlılığı olan optik bileşenler üretilebilir. Bu bölümde yüksek hassasiyetli talaşlı imalatın temel ilkelerini ve birtakım uygulamalarını kısaca açıklayacak ardından elde edilebilecek kalite düzeylerini ve tekniğin sınırlamalarını inceleyeceğiz.

9.1 Yüksek hassasiyetle talaşlı imalatın ilkeleri

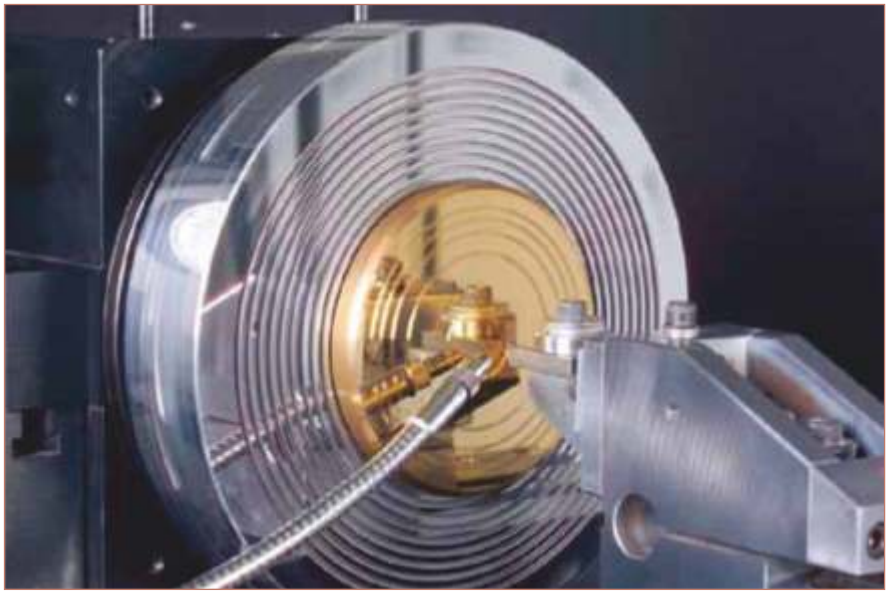
Yüksek hassasiyetle talaşlı imalat (aynı zamanda elmas tornası olarak da bilinmektedir), kullanılan kesim malzemesindeki konvansiyonel talaşlı imalat tekniklerinden farklılık göstermektedir. Monokristalin elmas, takımların çok hassas kenar geometrisiyle ve düşük yıpranmayla biçimlendirilmesine imkan vermektedir. Sözkonusu takımların burun yarıçapları olağan olarak 50 nm civarındadır. Yüksek hassasiyetli talaşlı imalat teknolojisiyle birleştirildiğinde elmas kesim takımları, sadece birkaç nanometrelik yüzey pürüzlülüğüyle (R_a) optik yüzey imal etmek üzere kullanılabilmektedir (Şekil 23'e bakınız).

Bakır alaşımlarının ve diğer demir-dışı metallerin bir avantajı da monokristalin elmas takımlarıyla talaşlı imalattan geçirilmelerinin çok kolay olmasıdır. Demirin karbon eğiliminden ötürü çelik, bu takımlarla talaşlı imalattan geçirilemez [21, 29, 30].

Yüksek hassasiyetli talaşlı imalat takımlarının ana özellikleri aerostatik veya hidrostatik kılavuz sistemleri, hava milleri ve doğrusal sürüşlerdir.

Yüksek düzeyde ısıl kararlılık ve iyi titreşim sönümleme nitelikleri elde etmek için yüksek hassasiyetli makinelerin tabanında granit malzeme tercih edilmelidir.

Elmas kesim takımları kullanılarak, torna ve testere tezgahlarında yüksek hassasiyetli talaşlı imalat yapılmaktadır.
Torna işlemi çok sayıda geometrinin talaşlı imalattan geçirilmesine imkan verir ve hızlı takım servo (FTS) sistemleri de artık dönmeyen simetrik optik yüzeylerin imalatına imkan vermektedir.Testere freze, tek dişli freze kesiciyle freze yapmak olarak düşünülebilir. Testere frezenin döner diskin çevresine monte edilmiş tek noktalı elmas kesim takımı bulunmaktadır. Testere freze, düz yüzeyler üretmek yada doğrusal yivler oluşturmak üzere kullanılır. Yivin ve yuvanın geometrisi, kesim takımının şekliyle (yarıçap, dik kesilmiş, v biçiminde) belirlenir.



Şekil 23: Yapılandırılmış düzlem pirinç yüzeyinin yüksek hassasiyetle talaşlı imalattan geçirilmesi

Elmas kesimiyle üretilen yüzeyin kalitesi bir ölçüde kesim hızına bağlıdır. Genelde torna işlemleri, çalışma parçasının merkezinde kesim hızı sıfır olacak şekilde sabit eğirme hızında gerçekleştirilir. Her ne kadar yüksek hassasiyetli talaşlı imalattaki kesim kuvveti normalde 1 N'den daha az olsa da titreşimlerden kaçınmak ve 0.1 µm'nin altında gerekli boyut hassasiyetini sağlamak için yüksek sertlikteki makinelere gerek vardır.

Seçilen torna mili hızı, talaşlı imalattan geçirilen bileşenin çapına, çalışma malzemesine ve eksenel yüklere bağlı olacaktır. 2500 rpm'ye kadar tornalama hızları normalde yüksek hassasiyetli talaşlı imalatla metal optik üretiminde kullanılır.
Makro ölçekli talaşlı imalatta olduğu gibi ilerleme, takım burnunun yarı çapıyla ve belirlenen yüzey pürüzlülüğü ile tespit edilir. Kesim derinliği çalışma malzemesine bağlıdır. Demir dışı metaller için torna işlemlerinde tavsiye edilen kesim derinliği kaba işlem için 20-50 µm ve son talaşlı imalat için ise 3 µm civarındadır.

Yüksek hassasiyetli talaşlı imalat tezgahları genelde makine yağlama sistemiyle donatılmıştır. İzoparafinler, basınçlı hava akımıyla kesim bölgesine püskürtülür. İlave makine yağlamasında MQL sistemi aynı zamanda talaşların kesim bölgesinden temizlenmesinide sağlar. Yağlayıcıların yüksek buharlaşma ısıları olduğundan dolayı kesme işlemine evoparatif soğutma etkisi yapmazlar [29].

9.2 Bakır alaşımlarını içeren örnek uygulamalar

Bakır ve bakır alaşımları farklı yüksek hassasiyetli talaşlı imalat uygulamalarında kullanılır. Bakır, lazer sistemleri için optik bileşen imalatında yaygın bir biçimde kullanılmaktadır. Bakır, sadece yüksek kaliteli yüzeylerin imaline imkan verdiği için değil ama aynı zamanda ve önemlisi yüksek ısı kapasitesinden ötürü kullanılır. Yüksek kaliteli yüzey sonlandırmasına ve ilave yüzey kaplamalarına rağmen ayna malzemesi ısınarak aynanın şeklini bozabilir. Biçimdeki bu gibi izin verilemeyen farklılaşmalardan kaçınmak için aynalar dahili

Mümkün olan en iyi ayna yüzeyini üretmek için elmas tornasından geçen bakır mümkün olan en yüksek saflığa sahip olmalıdır. Seçilen bakır kalitesine OFHC (oksijensiz yüksek iletkenlik) bakırı adı verilir. Üretilen aynalar sadece ışık huzmelerine rehberlik etmek ve odaklanmak için değil ama aynı zamanda huzmeleri şekillendirmek için de kullanılır. FTS sistemlerini konumlandırmak suretiyle ayna yüzeyinde döner olmayan simetrik yüzey yapıları oluşturulabilir. Örneğin huzme homojenleştiricisi olarak hareket edebilecek çok yüzlü ayna yüzeyleri oluşturulabilir. Buna ilaveten serbest biçimli aynaları kullanmak suretiyle huzmenin odağı değiştirilebilir.

Ayna optiği için kullanılmanın yanısıra bakır ve bakır alaşımları enjeksiyon kalıpları için kalıp yapmak üzere de kullanılır. Daha sert olmalarından ötürü bakır-berilyum alaşımları da bu gibi uygulamalarda kullanılır. Ancak 2002/95/EC sayılı Tehlikeli Maddelerin Kısıtlanması Yönergesi'ne (RoHS) göre berilyum içeren bileşenler için etiketleme gereklilikleri bulunmaktadır. Pirinç sadece plastiklerin enjeksiyon kalıplamasında kalıp parçası olarak değil ama aynı zamanda mikro yapılı mastır imalinde de kullanılır. Pirinç plakası, ebadı bir metre kareye kadar çıkabilecek olan bu yapısal mastırların başlangıç malzemesidir. Bu türden replikasyon mastırları örneğin yivli veya piramid yapıların testere frezelemesiyle talaşlı imalattan geçirildiği vitrin uygulamalarında kullanılır.

9.3 Malzeme özellikleri ve bunların yüksek hassasiyetli talaşlı imalat üzerindeki etkileri

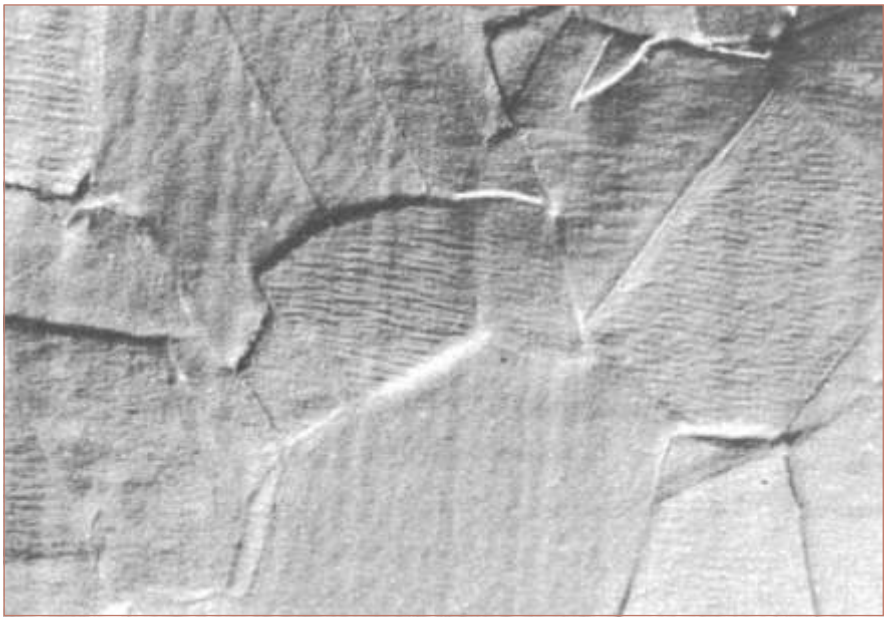
Yüksek hassasiyetli talaşlı imalat işleminin sonuçları sadece kesici takıma ve makine özelliklerine değil ama aynı zamanda çalışma malzemesinin niteliklerine bağlıdır. Mühendislik uygulamalarında kullanılan bakır ve bakır alaşımları genelde polikristalin mikro yapıya sahiptir. Gerekli hassasiyet arttığında veya yüzey özelliklerinin boyutları azaldığında da bunlar göz önünde bulundurulmalıdır. Elde edilebilecek yüzey sonlandırmasının kalitesini ve ortaya çıkan kesim güçlerini incelemek için polikristalin bakır üzerinde birtakım çalışmalar gerçekleştirilmiştir [29, 31]. Talaşlı imalattan geçen yüzeyin nitelikleri kuvvetli bir biçimde malzemenin tanecik yapısına ve tanecik sınırlarına bağlıdır.

Ters yay etkisinin (talaşlı imalat süreci sırasında her bir taneciğin sıkıştırılmasının) sonucu olarak OFHC bakırın düz yüzeyinin elmas kesimiyle, komşu kristaller arasında 40 nm'ye kadar akma seviyesi farklılığı oluşabilir (Şekil 24'e bakınız) [29].

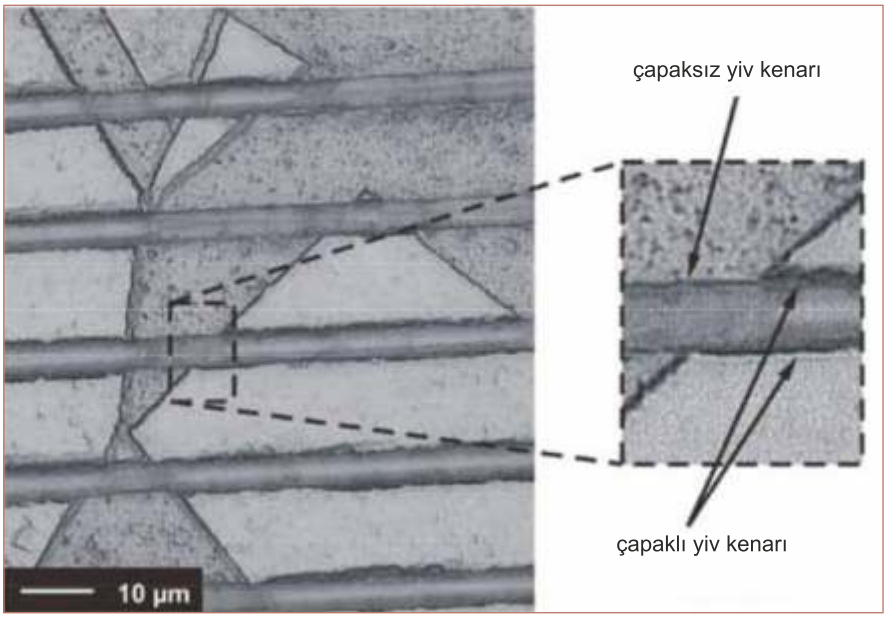
Bu yüzey yapılarının oluşumu, çalışma malzemesini izotropik olmayan davranışının sonucudur. Bakır kübik yüzey merkezli kafes yapısında olması, kafes düzlemleri arasında farklı doldurma yoğunlukları oluşturur, bundan dolayı kafes düzlemi yönüne bağlı olarak elastik veya plastik malzeme özelliği ortaya çıkar. Örneğin tek bakır kristalinin elastiklik modülü, yük doğrultusuna bağlı olarak 68 ile 190 kN/mm² arasında farklılık gösterir. Polikristalin mikro yapılarda bu etkiler, mikro yapıdaki taneciklerin farklı yöneliminden ötürü birbirini güçlendirir. Polikristalin bakır alt katmanı talaşlı imalattan geçirildiğinde mikro yapıdaki tanecikler de farklı bir biçimde tepki verir ve bu da yukarıda tarif edilen düzeylerde farklılaşmalara yol açar.

Tanecik yapısının etkileri, alt-katman yüzeyinin mikro yapılandırmasında özellikle de yivli yapılar boyunca çapak oluşumunda da çok açıktır. Şekil 25 OFHC bakır parçasının yüzeyinde dalma kesim tornalı 7 µm derinliğindeki V-şekilli yivleri göstermektedir. Yivlerin kenarları boyunca çapak oluşumu, bakırın tanecik yapısıyla birlikte değişim gösterir ve bu da burada dağlama ile görünür hale getirilmiştir.

Tanecik sınırlarının etrafındaki malzeme özellikleri değiştikçe talaşlı imalat şartları ve dolayısıyla da çapak oluşumu buna göre değişir. Burada gösterilen malzemede tanecik büyüklüğü 50-80 µm arasındadır. Tanecik



Şekil 24: OFHC bakırının elmas kesim yüzeyi [29]



Şekil 25: Tanecik yapısına bağımlı çapak oluşumu [32].

büyüklüğünü azaltmak suretiyle mikro yapının homojenliği geliştirilebilir. Mikro kristalin bakır malzemeler, büyük derecede plastik biçim bozulması ile (SPD) üretilebilir. Bu gibi bir SPD tekniği, yüksek düzeyde biçim bozulmasının elde edilebileceği ve dolayısı ile malzeme içinde yer değişimlerinin yapılabileceği ECAP yöntemidir (Denk Kanal Açısal Bastırma). ECAP tarafından üretilen malzeme numuneleri, mikro yapı testlerinde zaten başarıyla kullanılmıştır [32]. Yine de OFHC bakırının elmas kesimiyle 3 nm'ye kadar inen R_a pürüzlülük parametreli yüzeyler üretilebilir [29].

10 Bakır ve bakır alaşımları için tavsiye edilen talaşlı imalat parametreleri

Tavsiye edilen talaşlı imalat parametreleri listesi, biçimi bozulmamış talaş kalınlığının bir fonksiyonu olarak talaşlı imalat işlemlerine yönelik torna ve freze gibi kesim hızları önermiştir. Doğru talaşlı imalat parametrelerini tanımlamak için aşağıdaki prosedür kullanılabilir:

Eğer talaşlı imalattan geçirilecek malzeme standartlaştırılmışsa Tablo 9 ile Tablo 11 arasındaki malzemeyi tespit ediniz ve talaşlı imalata uygunluk derecesiyle takım geometrisi göstergesini not ediniz. Eğer malzeme standartlaştırılmamışsa başlıca alaşım bileşenlerine dayalı olarak en benzer alternatif malzemeyi seçiniz.

Sözkonusu talaşlı imalat işlemi için Tablo 13 ile Tablo 19 arasındaki tavsiye edilen talaşlı imalat parametrelerini belirlemek üzere malzemenin talaşlı imalata uygunluk derecesini kullanınız.

Tablo 12'den tavsiye edilen takım geometrisini belirlemek için takım geometrisi göstergesini kullanınız.

Talaşlı imalata uygunluk, çalışma malzemesinin gücüne ve sertliğine bağlı olduğu için gerilim kuvveti ve Brinell sertlik verileri, Tablo 9 ile Tablo 11 arasına dahil edilmiştir. Eğer malzeme kuvveti veya sertliği, verilen değerlerden farklılık gösteriyorsa talaşlı imalata uygunluk endeksinin belirlediği tavsiye edilen talaşlı imalat parametresinin buna göre ara değerlemesi veya dış değerlemesi gerekecektir.

Aşağıdaki kısımlarda çeşitli talaşlı imalat işlemlerine yönelik olarak tavsiye edilen talaşlı imalat parametrelerini açıklıyoruz.

10.1 Bakır ve bakır alaşımlarının torna işlemleri

Tablo 13'te alıntı yapılan değerlerin örnek olayların %70'inde geçerli olduğu tahmin edilmektedir. Bunlar takım ömrünün sonunda VB ≈ 0.6 mm'de dış yüz yıpranma bölgesi enine ve N10 (N20) grubunda karbür kesim takımları için T = 30-60 min veya HSS kesim takımlarında T = 45-90 min takım ömrüne dayalıdır (HS10-4-3-10).

Eğer T takım ömrü ikiye katlanırsa v_c değeri de karbür takımları için %16 civarında ve HSS takımları için de %10 civarında düşürülmelidir. Ancak sünek, yüksek bakır içerikli malzemelerde karbür takımının T takım ömrünün ikiye katlanması, v_c kesim hızında %30 civarında azalma gerektirir.

Eğer takım ömrü, VB≈0.4 mm dış yan yıpranma bölgesine ulaşılacak kesim süresi olarak tanımlanırsa VB ≈ 0.6 mm değerine dayalı olarak aynı T takım ömrüne ulaşmak için karbür takımlarında v_c kesim hızının %35 civarında ve HSS takımlarının da %15 civarında düşürülmesi gerekir.

Kesintisiz kesim pratikte HSS takımlarının servis ömrü üzerinde hiçbir etkiye sahip değildir; eğer karbür takımları kullanılıyorsa v_c kesim hızında %10 civarında bir düşüş tavsiye edilir.

Kum kalıba dökülmüş parça üzerine torna işlemi yapılırken kesim hızı karbür kesim takımları kullanılırken %15 civarında ve HSS takımlarında da yüzde 20 civarında düşürülmelidir.

Yüzeyi sertleştirilmiş bakır malzemeleri talaşlı imalattan geçirirken malzemenin talaşlı imalata uygunluğu, yüzeyin talaşlı imalata uygunluğuyla belirlenir ki bu da yüzey katmanının sertliğine bağlıdır.

Talaş akışının kısıtlı olduğu biçim tornası, yivli kesim, parçalara ayırma ve yiv açma gibi torna işlemlerinde v_c kesim hızı, karbür takımları kullanıldığında %40 civarında ve HSS torna takımları kullanıldığında da %50 civarında düşürülmelidir.

Eğer HS10-4-3-10 dışında HSS kalitesi kullanılırsa aşağıdaki düzeltme faktörleri geçerlidir:

HSS	v_c faktörü
HS10-1-4-5	0,82
HS12-1-4	0,76
HS6-5-2	0,72
HS2-9-1	0,65

Elde edilebilecek maksimum tornalama hızındaki sınırlardan ötürü veya çok küçük çapta bir talaşlı imalat yapılırken pratikte Tablo 13'teki tavsiye edilen kesim hızları kullanılmayabilir. Bu gibi

]Talaşlı imalat düzeyi	Biçimi bozulmamış talaş kalınlığı h [mm]					
	Karbürler			HSS		
	0,1	0,32	0,8	0,1	0,32	0,63
100	1260	1000	800	154	85	60
90	1150	910	730	142	79	57
80	1030	800	660	130	74	53
70	910	730	580	117	68	50
60	800	630	510	105	62	46
50	680	540	430	93	57	43
40	570	440	360	81	51	39
30	450	360	284	68	46	36
20	220	160	120	36	28	22

Tablo 13: *Bakır ve bakır alaşımlarının torna işlemlerinde tavsiye edilen talaşlı imalat parametreleri*
Biçimi bozulmamış talaşın mm olarak kalınlığının ve talaşlı imalat düzeyinin fonksiyonu olarak m/dk. cinsinden tavsiye edilen v_c kesim hızı

Talaşlı imalat düzeyi	HSS	Karbür Takım D = 3 – 20 [mm]	Karbür içerikli takım
	v_c [m/dak.]	v_c [m/dak.]	v_c [m/dak.]
100	80	250	400
90	74	239	373
80	69	228	345
70	63	216	318
60	58	205	290
50	52	194	263
40	46	183	235
30	41	171	208
20	35	160	180

Tablo 14: *Bakır ve bakır alaşımlarında delme işlemi imalat parametreleri*
HSS, karbür takım ve değişken uçlu matkaplar için talaşlı imalat düzeyine karşılık gelen tavsiye edilen m/dak. cinsinden v_c kesme hızları

		Çap D [mm]				
		3 – 5	5 – 8	8 – 12	12 – 16	16 –20
İlerleme f [mm]	HSS	0,1 – 0,16	0,16 – 0,25	0,25 – 0,32	0,32 – 0,4	0,4 – 0,5
	Carbide	0,08 – 0,12	0,12 – 0,18	0,18 – 0,23	0,24 – 029	0,3 – 0,35

Tablo 15: *Bakır ve bakır alaşımlarının delinmesinde ilerlemeler*
Matkap çapı bir fonksiyonu olarak tavsiye edilen ilerleme

durumlarda talaşlı imalat parametreleri, belirli talaşlı imalat işlemleri ve hakim kesim şartları göz önünde bulundurularak ayarlanmalıdır.

10.2 Bakır ve bakır alaşımlarının delinmesi ve havşa açımı

Bakır esaslı malzemeler genelde HSS burgulu delgileri kullanılarak delinir. Bunlara katı karbür delgiler, endekslenebilir delgiler ve (derin delik) tabanca delgileri eşlik eder. HSS, katı karbür ve endekslenebilir parça delgiler için tavsiye edilen kesim hızları Tablo 14'te belirtilmiştir.

Delgi işlemi sırasında kullanılacak ilerleme düzeyi, çalışma / takım malzemesi çiftleşmesine fakat öncelikle de delgi parametresine bağlıdır. Delgi çapının artmasıyla devir başına gerekli ilerleme de artar. Tavsiye edilen ilerleme değerleri, delgi çapının ve takım malzemesinin bir fonksiyonu olarak Tablo 15'te listelenmiştir. Bakır esaslı malzemelerin nitelikleri geniş bir yelpazeye yayıldığı için delgi tipi ve/veya kesici kenar geometrisi seçimi de delinecek malzeme tipine bağlıdır: kısa, parçalı talaş çıkaran bakır alaşımları, H tipi delgiler (cf. DIN 1414, döküm 1 ve 2) kullanılarak delinir, N tipi delgiler ise daha uzun kıvrımlı talaşlar çıkaran malzemeler için tercih edilir, öte yandan W tipi delgiler aşırı uzun sürekli talaş biçimleri çıkaran malzemeler için kullanılır. Parlatılmış veya krom kaplamalı yivleri olan W HSS delgilerde uzun sert talaşların kaldırılması daha kolaydır.

H tipi delgiler, A sınıfı kesici kenar geometrisine, N tipi delgiler B sınıfına ve W tipi delgiler de C sınıfına karşılık gelir (Tablo 12).

Piyasada mevcut bulunan karbür delgiler arasında sert lehimli karbür uçlar, katı karbür delgiler veya değişebilen uçlu karbür içerikli matkaplar bulunmaktadır.

Değişebilen uçlu karbür içerikli matkaplar 18 mm civarından daha büyük çaplı (ve 2.5 d uzunluğa kadar) deliklerde delgi işlemi yapıldığında en ekonomik takımlar olduğu görülmüştür. N tipi ve H tipi delgiler makinenin yeterince sert ve yeterince güçlü olması halinde kullanılabilir. Bu delgi tiplerinin uzun sürekli sert talaşlar üreten bakır esaslı malzemeleri delmek için kullanılıp kullanılamayacağı, talaş kırıcı yivleri olan endekslenebilir parçaların bulunmasına bağlıdır.

Derin deliklerin delinmesinde dahili soğutma delikleri olan delgiler tavsiye edilir. Kesim sıvısı soğutucu deliğin içinde akar ve bu nedenle delginin kesici kenarlarına daha kolay taşınarak talaşların kesim bölgesinden püskürtülmesine yardımcı olur.

Namlu matkapları boyutsal toleranslara, sondaj deliği duvarının hizalamasına ve yüzey kalitesine yüksek miktarda talepler yapıldığında aşırı derin delikleri ($L > 10 \bullet d$) delmek için kullanılır.

Namlu matkapları ile delme işlemi yapılırken diğer matkaplarda kullanılan parametreler kullanılmaz. Takımın kesim

kenarı geometrisinin ve ilerleme düzeyinin öncelikle kesim bölgesinden kolaylıkla çıkarılabilecek bir talaş biçimi sağlanmasına bağlıdır.

Delgi işlemlerinde elde edilebilecek kesim hızlarının aralığı, talaş oluşum süreciyle belirlenir. Bu aralık içinde v_c kesim hızı öncelikle K_{WT}, takım ömrü başına takım maliyeti esasında seçilir ve bu da kullanılan delgi tipine, çapına ve uzunluğuna bağlıdır. Kesim hızı aynı zamanda delgi ucunun delgi kılavuzu burcunun duvarlarıyla sürtünüp sürtünmediğine ve kesim sıvısının ne kadar kolaylıkla kesici uca ulaşabildiğine de bağlıdır. Soğutucu kanalları olmayan bir delgi kullanırken v_c kesici hız seçiminin sadece delgi işlemi sırasındaki delgi konumuna (yatay veya dikey) değil ama aynı zamanda açılan deliğin derinliğine bağlı olmasının nedeni budur.

Son olarak kesim hızı, çalışma malzemesinden etkilenir. Daha yüksek başlangıç satınalma maliyetine rağmen daha uzun takım ömrü olan bir kesici takım, delik başına talaşlı imalat maliyetinde önemli bir azalma sağlayabilir.

Yukarıdaki kriterlere ek olarak açılacak deliğin geometrisi aynı zamanda v_c ve f seçiminin ne zaman yapılacağını da göz önünde bulundurmalıdır. Uzunlamasına delikler açarken aradan geçiş sırasında delgi ucunun dış kenarları, daha fazla yıpranmaya maruz kalır. Bu nedenle kesim hızının ve ilerleme düzeyinin çıkış sırasında %5

Talaşlı imalat düzeyi	HSS		Delik çapı d [mm]					
	Kaplamasız	Kaplamalı	5	10	16	25	40	63
	v_c [m/dak.]		f [mm]					
100	14	19	0,15 – 0,2	0,2 – 0,3	0,25 – 0,35	0,4 – 0,5	0,4 – 0,5	0,6
90	13	18						
80	13	17						
70	12	16						
60	11	15						
50	10	14						
40	10	13						
30	9	12						
20	8	11						

Tablo 16: *HSS raybalarda bakır ve bakır alaşımlarının delik genişletme işlemleri için imalat parametreleri*
Talaşlı imalat düzeyinin fonksiyonu olarak tavsiye edilen v_c kesim hızları (m/dak.) ve delik çapının fonksiyonu olarak tavsiye edilen f ilerlemesi (mm)

Talaşlı imalat düzeyi	Karbür		Delik çapı d [mm]					
	HC – N10	5	10	16	25	40	63
	v_c [m/dak.]	f [mm]					
100	30	0,2 – 0,3	0,3 – 0,4	0,35 – 0,45	0,4 – 0,5	05 – 0,6	0,6
90	27						
80	25						
70	22						
60	19						
50	16						
40	14						
30	11						
20	8						

Tablo 17: *Karbür raybalarda bakır ve bakır alaşımlarının delik genişletme işlemleri için imalat parametreleri*
Talaşlı imalat düzeyinin fonksiyonu olarak m/dk. cinsinden tavsiye edilen v_c kesim hızı ve delik çapının fonksiyonu olarak mm cinsinden tavsiye edilen f ilerlemesi

civarında düşürülmesi tavsiye edilir; kör delikler açılırken bu kısıtlama geçerli değildir.

Havşalarda ve karot matkaplarda (DIN 343, 344, 222 ve DIN 8043, 8022'de ayrıntıları verildiği şekilde) talaşlı imalat verileri, HSS delgilerinin mukabil verilerinden elde edilebilir: v_c kesim hızı %30 azaltılmalı, f ilerlemesi ise %100 artırılmalıdır.

10.3 Bakır ve bakır alaşımlarının raybalanması

Rayba takımının servis ömrü, çalışma malzemesinden çok talaşlı imalattan geçirilecek deliğin boyut toleransına bağlıdır. Olumlu şartlar altında en yüksek maliyet etkin takım ömrü T_{oK} IT 8 tolerans düzeyinde elde edilebilir. Eğer toleranslar daha dar olursa genelde optimum takım ömrünü elde etmek mümkün olmaz.

Raybalama işlemlerinde v_{oK} optimum maliyetli kesim hızı da bu nedenle olağan ölçülerde tavsiye edilen değerlerden ciddi ölçüde daha düşüktür. Raybalama işlemlerinde tavsiye edilen değerler Tablo 16 ve Tablo 17'de sayılmaktadır.

Tersine, oldukça yüksek f ilerleme hızı seçilse bile takım ömrü boyunca ihmal edilecek kadar az sayıda tolerans ve delik içi yüzey kalitesi uygunsuzluğu ile karşılaşılır.

Belirtilen raybalama toleransları çok küçük olmamalı ve havşalamada olağan olarak varsayılan toleransa kabaca eşit olmalıdır. Kısa talaşlı alaşımlar için genelde 45° civarında κ_r takım kesici kenarı açısı seçilirken uzun talaşlı malzemelerde yaklaşık 30° açı olağandır. Daha küçük açılar, raybalama işleminin talaş yapışmasına yol açarak yüzey sonlandırma kalitesini değiştirmeksizin takım ömrünü kısaltır. Raybanın, kesim başlangıcında yeterince doğru gitmesi ve dudaktan uca geniş hafif kıvrımlı olması önemlidir.

Takım ömrünün sonu, raybalı deliğin boyut tutarlılığıyla değil fakat dudaktaki VB ≈ 0.3 mm dış yan bölge eniyle belirlenmemelidir. Bu yıpranma kriterinin uyarlanamaması, mümkün olan yeniden taşlamaların sayısında ciddi bir azalmayla sonuçlanacak ve dolayısıyla parça başına takım maliyetini ciddi ölçüde artıracaktır.

Çok yivli bir raybalama takımıyla oluşan delik yuvarlaklığı, bir 'köşe'de takımın kesici kenar sayısından daha fazlası bulunmak üzere çok köşeli poligonal bir profil benimseme eğilimi gösterir. Ancak her ne kadar çok düzensiz aralıklı yivleri olan rayba kullanmak suretiyle ciddi ölçüde azaltılabilse de tek sayılı kesici kenarı olan bir rayba seçilmesi bu sorunu ortadan kaldırmaz. Sünek malzemelerle raybalama yaparken veya deliklerden raybalama yaparken yivli burma doğrultusu kesimin tersine (örn. sol burma, sağ kesim) gelecek şekilde bir takım kullanmak suretiyle deliğin yüzey sonlandırması geliştirilebilir çünkü bu talaşların deliğe doğru ilerledikçe takımın önüne itilmesini güvence altına alır.

Raybalama işlemleri yaparken kesim yağları tavsiye edilir.

Eğer sözkonusu raybalama işleminde katı çoklu yivli rayba yerine değişebilir kesici parçası olan bir rayba kullanılabilirse takım kalıbı açma maliyeti düşürülebilir.

10.4 Bakır ve bakır alaşımlarında diş açılması ve kılavuz çekilmesi

Kılavuz açma işlemi için doğru kılavuz tipini tayin etmek çok önemlidir. Kılavuz seçimi, çalışma malzemesine ve kullanılan yivin geometrisine bağlıdır. Tavsiye edilen kesim hızları Tablo 18'de belirtilmektedir.

Düz yivli kılavuzları genelde kısa talaş alaşımlarında kullanılır ve helozon-noktalı kılavuzlar da genellikle deliklere kılavuz açarken tercih edilir çünkü takımın önündeki talaşı atma eğilimi gösterir. Dip tarzı pahların kullanıldığı kör deliklere kılavuz açılırken bu mümkün değildir.

Uzun talaş malzemelerdeki ara deliklerden veya nispeten derin deliklerden yiv kesmek için düz yivli, helezon noktalı ve 2 mm'ye kadar atışı olan kılavuzlar kullanılır. Ancak kör deliklerdeki (sağ) yivleri kesmek için sağ helezonlu kılavuzlar kullanılır. 15°, 35° ve 45° civarındaki helezon açılar ticari olarak mevcuttur. L/d oranı ne kadar büyükse ve oluşan talaş ne kadar sağlamsa helezon açısı da o kadar geniş olmalıdır.

Yivli frezeyle kılavuz açmanın yanısıra dahili yivler de kesilebilir. Kaplanabilir karbür yivli frezeler, pirinçte 200-400 m/dak. kesim hızında yivler kesebilir. Eğer kaplama yapılmamış takımlar kullanılırsa kesim hızları %25 kadar azaltılmalıdır. Diş başına ilerleme fz olağan olarak 0.05 ile 0.15 mm arasındadır.
Eğer uzun talaşlı pirinçler talaşlı imalattan geçiriliyorsa aralığın alt ucu seçilmelidir. Yivli freze işlemlerindeki kesim hızı ve ilerleme aynı zamanda yivin çapına da bağlıdır: yiv çapı ne kadar büyükse kesim hızı da o kadar yüksek

Talaşlı imalata uygunluk düzeyi	Karbür N10	HSS	
		kaplamasız	Kaplamalı
	v_c [m/dak.]		
100	40	20	30
90	39	19	29
80	38	19	28
70	36	18	26
60	35	17	25
50	34	17	24
40	33	16	23
30	32	15	22
20	30	15	20

Tablo 18: Bakır ve bakır alaşımlarında kılavuz açılmasına yönelik tavsiye edilen kesim hızları

olacaktır ve böylece daha geniş bir diş başı ilerleme seçilebilir. Eğer talaşlı imalattan geçirilen alaşımsız bakır ise kesim hızları %25 civarında artırılabilir ve ilerlemeler de iki misline çıkarılabilir.

10.5 Bakır ve bakır alaşımlarının frezelenmesi

Satıh frezelemesinde talaşlı imalattan geçirilen yüzey, uç yüzeyindeki kesici kenarlarla üretilir. Eğer yüzey, kesicinin dış çevresindeki kesici kenarlarla üretiliyorsa bu teknik çevre frezeleme olarak bilinir. Eğer çevre kesim kenarları düz değil fakat profilliyse biçim frezeleme kesicisi olarak adlandırılan parça, takımın çevre kesim kenarlarının belirlediği şekilli bir yüzey çıkarır.

Eğer belli bir işte her iki tip freze işlemi de kullanılabiliyorsa satıh frezelemesi genelde daha ekonomiktir. Satıh frezelemesinde kesilmemiş talaşta genelde sıfır kalınlık oluşmaz. Kesimin en başında çok ince talaş kalınlığı, kesici kenarlarla çalışma yüzeyi arasında sürtünmeye, yüzey kalitesinin bozulmasına ve takım yıpranmasının artmasına yol açabilir. Bunun yanısıra satıh frezeleme sırasında yıpranması frezeli yüzeyin pürüzlülüğünün tespit edilmesinde çok önemli olmayan ufak kesim kenarları, başlıca kesim kenarlarına göre daha hızlı bozulur.

Bunun aksine çevresel frezelemenin avantajı, tek bir geçişte geometrik olarak karmaşık şekiller çıkarabilmesidir. Ancak çevresel frezelemede talaşlı imalattan geçirilen yüzeyin pürüzlülüğü, başlıca kesici kenarların durumuyla doğrudan belirlenir.

Freze kesicinin dönüş doğrultusuna bağlı olarak iki tür çevresel frezeleme arasında ayrım yapabiliriz. ‘Üst frezelemede’ kesicinin dişlerinin hareket doğrultusu, çalışmaya dahil olduğunda ilerlemenin tam tersidir. ‘Alt frezeleme’de veya ‘tırmanış frezeleme’de dişlerin hareket doğrultusu çalışmaya doğru kesim yaptıklarında ilerleme doğrultusuyla aynıdır.

Eğer çalışma malzemesinin sert, yıpranmayı teşvik eden bir yüzey yoksa normalde alt frezeleme, üst frezelemeye tercih edilir çünkü alt frezeleme, kesici dişler ile çalışma yüzeyi arasında daha az sürtünmeyle sonuçlanır ve kesim kuvvetleri de daha olumlu bir şekilde dağılır.
Ancak bakır ve bakır alaşımları talaşlı imalattan geçirilirken takım ömründeki nihai farklılık o kadar büyük değildir.

Normal şartlarda bakır esaslı malzemelerin frezelenmesinde kullanılan kesim malzemeleri,

Talaşlı imalat düzeyi	Endekslenebilir parçalı yüz frezeleme			
	HM – N10 kaplamasız		DP – N05	
	mm olarak h_z			
	0,1	0,2	0,1	0,2
100	580	540	1050	1000
90	554	516	1006	954
80	530	494	963	910
70	507	472	923	868
60	484	451	884	829
50	463	431	847	791
40	443	412	811	754
30	423	394	777	720
20	405	377	744	687

Tablo 19: *Değişebilen dişler kullanılarak bakır esaslı malzemelerin satıh frezelenmesi için talaşlı imalat parametreleri Biçimi bozulmamış mm cinsinden talaş kalınlığının h_z ve talaşlı imalata uygunluk düzeyinin fonksiyonu olarak m/dk. cinsinden tavsiye edilen V_c kesim hızları*

Uç freze kesicili çevresel freze								
Talaşlı imalat düzeyi	Takım malzemesi				mm olarak f_z			
	HSS		katı karbür		freze kesicinin mm olarak çapı			
	kaplamasız	kaplamalı	kaplamasız	kaplamalı	1	6	12	20
100	45	80	140	280	Pürüzleştirme			
90	41	73	120	230	0,004-0,006	0,01-0,02	0,04-0,5	0,05-0,07
80	38	67	110	210				
70	35	61	100	200				
60	32	56	96	190	Sonlandırma			
50	29	52	92	180	0,004-0,006	0,01-0,02	0,04-0,5	0,05-0,07
40	27	47	87	175				
30	24	43	85	165				
20	22	40	80	160				

Tablo 20: *Uç freze kesiciler kullanılarak bakır esaslı malzemelerin çevresel frezelemesinde talaşlı imalat parametreleri*
Freze kesicisinin çapının ve talaşlı imalat düzeyinin fonksiyonu olarak m/dk. cinsinden tavsiye edilen v_c kesim hızı ve mm cinsinden f_z diş başına ilerleme

N10 ve N20 ve HSS kalitesi HS6-5-2, HS6-5-2-5, HS2-9-1-8 ve HS12-1-4-5 karbür uygulaması gruplarıdır.

Frezeleme işlemlerinde diş başına ve h_m devri başına biçimi bozulmamış talaş kalınlığı normalde 0.1-0.35 mm aralığındadır. Satıh frezeleme kesicileri ve ağır kesim takımları, bu aralığın üst ucunda yer alma eğilimi gösterirken çevresel ve daha zayıf takımlar ortayla alt bölge arasında yer alır. Satıh frezeleme işlemindeki biçimi bozulmamış talaş kalınlığı, diş başına ilerleme ve f_z devriyle belirlenir ve kesim kenarı açısı κ ise aşağıdaki gibidir:

$$h_m = \frac{114{,}6^\circ}{\varphi_s^\circ} \cdot f_z \cdot \sin(\kappa) \frac{a_e}{D} \quad (25)$$

Çevresel frezelemede, talaş uçlarından biri en azından teoride sıfır kalınlığa sahip olarak bir virgül gibi kıvrılır. Biçimi bozulmamış talaşın ortalama kalınlığı aşağıdaki denklemle verilmiştir:

$$h_m = \frac{114{,}6^\circ}{\varphi_s^\circ} \cdot f_z \cdot \frac{a_e}{D} \quad (26)$$

burada:

h_m = diş ve devir başına biçimi bozulmamış talaş kalınlığı

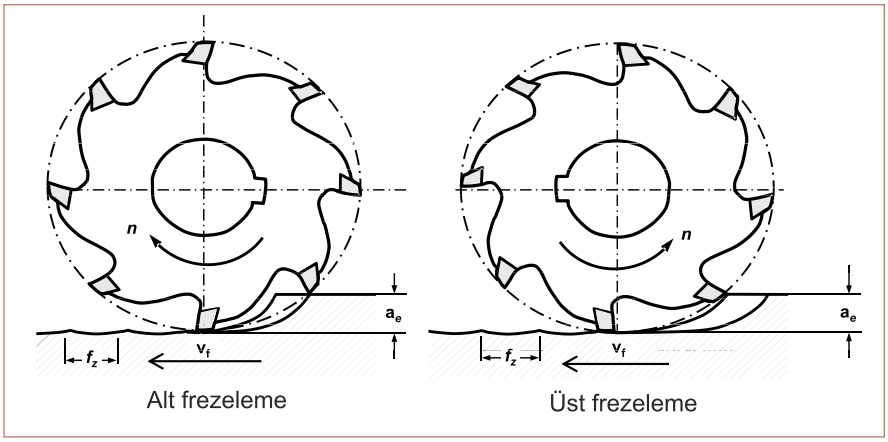
f_z = diş ve devir başına ilerleme

κ_r = takım kesim kenarı açısı

φ_s = kesici kullanımı açısı

h_m = biçimi bozulmamış talaşın ortalama kalınlığı

a_p = kesim derinliği (ilerleme)



Şekil 26: Çevresel frezelemenin 'alt' ve 'üst' biçimleri

a_e = Çalışma parçası (kesimin yarıçap derinliği)

D = Freze kesicisinin çapı

Freze kesicileri, kesici dişlerinin sayısı ve ilgili takım maliyetleri itibarıyla ciddi ölçüde farklılaşma gösterdiği için tavsiye edilen kesim hızı v_c sadece genel bir kılavuzluk sunabilir. Tablo 19'da belirtilen değerler, kaplamasız karbür veya polikristalin elmastan yapılmış endekslenebilir takılı diş kesiciler kullanılan satıh frezeleme işlemlerine atıfta bulunmaktadır.

Eğer v_c kesim hızı %10 civarında azaltılırsa takım ömrü de fiilen ikiye katlanabilir; eğer kesim hızı %10 artırılırsa takım ömrü de yarıya düşer.

Eğer döküm bir parça kum desenli yüzeyli olarak freze ediliyor ise karbür freze kesicinin kesim hızı da %15 civarında azaltılmalı, HSS takımınınki de %20 civarında düşürülmelidir.

Tavsiye edilen hızlar, takımın ömrünün sonunda VB ≈ 0.6 mm dış yüz yıpranma bölgesi enine (pürüzlü frezeleme) dayalıdır. Eğer takım ömrü, VB ≈ 0.4 mm dış yan yıpranma bölgesi enine ulaşmak için gereken talaşlı imalat süresi olarak tanımlanırsa VB ≈ 0.6 mm esasında aynı takım ömrüne ulaşmak için tablodaki değerlerin de karbür takımları için %50 ve HSS takımları için de %30 civarında azaltılması gerekecektir.

11 Ek

11.1 Talaşlı imalat örnek uygulaması

Alaşım grubu		Malzeme			Talaşlı imalata uygunluk ve işlemden geçirilebilirlik	Olağan uygulamalar	Talaşlı imalattan geçme düzeyi
		Gösterge	Sembol (EN)	Sembol (UNS)			
İşlenmiş Bakır Alaşımları	Düşük alaşımlı bakır alaşımları yaşlandırma sertleştirmesi yapılmayan	CuPb1P	CW113C	C18700	–	–	85 (no P)
		CuSP	CW114C	C14700	Talaşlı imalata uygunluk, serbest kesim bakır	Vidalı talaşlı imalat ürünü,tornalı parça; vida; somun;kaynak ve kesim meşalesi nozulu; aksam için subap oturağı	85
		CuTeP	CW118C	C14500	Talaşlı imalata uygunluk, serbest kesim bakır	Kaynak torçları ve kesici nozullar; vida	85
	Bakır-nikel-çinko alaşımları	CuNi7Zn39Pb3Mn2	CW400J	–	–	–	–
		CuNi10Zn42Pb2	CW402J	C79800	–	–	–
		CuNi12Zn30Pb1	CW406J	C79300	–	–	–
		CuNi18Zn19Pb1	CW408J	C76300	–	–	–
	Bakır-kalay-çinko alaşımları	CuSn3Pb7Zn9		C84400	–	–	90
		CuSn4Zn4Pb4	CW456K	C54400	–	Genel düz rulman; elektrik konektörleri; kontaklar; göstergeler	80
	Kurşunlu ikili bakır-çinko alaşımları	CuZn35Pb2	CW601N	C34200	–	–	90
		CuZn36Pb2As	CW602N	C35330	–	Sıhhi tesisat	(85)
		CuZn36Pb3	CW603N	C35600	Talaşlı imalata uygunluk ve soğuk çalışılabilir; ABD'de vidalı makinelerde ve talaşlı imalat merkezlerinde kullanılan başlıca alaşım	Vidalı makine ürünleri; tornalanmış parça; pim; kol ve duvar saatleri ve optik uygulamalar için hassas talaşlı imalat yapılmış parçalar	100
		CuZn37Pb0,5	CW604N	C33500	–	–	60
		CuZn39Pb0,5	CW610N	C36500	–	Kontak pimleri	60
		CuZn38Pb1	CW607N	C37000	–	–	70
		CuZn38Pb2	CW608N	C37700	Talaşlı imalata uygunluk ve soğuk çalışılabilme	Subap bileşenleri, optik ve hassas talaşlı imalat parçaları	80 (90)
		CuZn39Pb2	CW612N	–	Talaşlı imalata ve delmeye mükemmel uygunluk / freze kalitesi; iyi damgalama / zımbalama kalitesi	Kol ve duvar saati hareketleri; terminal kayışlar; elektrik konektörleri	(85)
		CuZn39Pb3	CW614N	C38500	Talaşlı imalata mükemmel uygunluk; Avrupa'da vidalı makinelerde ve talaşlı imalat merkezlerinde kullanılmak için başlıca alaşım; biçim tornalı parça	Biçim tornalı parça; hassasiyetle talaşlı imalattan geçmiş parçalar; duvar ve kol saati bileşenleri; elektrik uygulamaları; mürekkep kalem uçları	90 (100)
		CuZn40Pb2	CW617N	C37700	Talaşlı imalata mükemmel uygunluk; iyi sıcak çalışılabilirlik; çekme kesitleri	Her türden biçim tornalı parça; hassasiyetli talaşlı imali yapılmış parçalar; duvar ve kol saati parçaları	80 (95)
		CuZn43Pb2Al	CW624N	–	–	–	–
	Çoklu bileşen-bakır-çinko alaşımları	CuZn40Mn1Pb	CW720R	–	–	Silindir rulman kafesi; vidalı makine ürünleri	–
		CuZn21Si3P	CW724R	C69300	–	Kurşunsuz talaşlı imalat alaşımı	–

Tablo 21a: Standartlaştırılmış bakır esaslı malzemelerin talaşlı imalata uygunluk sınıflandırması

Talaşlı imalata uygunluk grubu I: Talaşlı imalata mükemmel uygunluk özelliği olan bakır alaşımları

Alaşım grubu		Malzeme			Talaşlı imalata uygunluk ve işlemden geçirilebilirlik	Olağan uygulamalar	Talaşlı imalattan geçme düzeyi
		Gösterge	Sembol (EN)	Sembol (UNS)			
Bakır Döküm Alaşımları	Bakır-çinko döküm alaşımları	CuZn33Pb2-C	CC750S	–	–	Gaz ve su subabı gövdeleri	–
		CuZn39Pb1Al-C	CC754S	–	–	Gaz, su ve sıhhi tesisat subapları	–
	Bakır-kalay ve bakır-kalay-çinko döküm alaşımları	CuSn3Zn8Pb5-C	CC490K	–	Orta sertlikte yapısal malzeme; iyi döküm özelliği; yüksek sıcaklıklarda dahi temiz sudan kaynaklanan aşınmaya direnç	İnce duvar subapları (12 mm'ye kadar duvar kalınlığı) 225°C'ye kadar uygulamalara müsait	90
		CuSn5Zn5Pb5-C	CC491K	C83600	Yapı malzemesi, iyi döküm özelliği; iyi lehimlenebilme; orta düzey sert lehimleme, iyi aşınma direnci	225°C'ye kadar uygulamalarda su ve akıntı subabı gövdeleri; düzenli görev pompa yuvaları; karmaşık geometride ince duvarlı dökümler	90
		CuSn7Zn4Pb7-C	CC493K	C93200	Tutma önleme özellikleri olan orta sertlikte malzeme	Orta düzey düz rulmanlar	70
		CuSn5Zn5Pb2-C	CC499K	–	Yapısal malzeme; iyi dökülebilirlik; iyi kaynak edilebilirlik; orta düzey sert lehimlenme; aşınmaya karşı iyi direnç	Özellikle içme suyu uygulamalarında tertibat, subap ve pompa yuvaları	90
		CuPb10Sn10-C	CC495K	C93700	Kendinden yapışma özellikleri	Yüksek düzey basınçlı düz rulmanlar	80
	Bakır-kurşun ve bakır-kalay döküm alaşımları	CuSn7Pb15-C	CC496K	CC93800	–	Düz rulmanlar; kompozit rulmanlar	80

Tablo 21b: Standartlaştırılmış bakır esaslı malzemelerin talaşlı imalata uygunluk sınıflandırması

Talaşlı imalata uygunluk grubu I: Talaşlı imalata mükemmel uygunluk özellikleri olan bakır alaşımları

Alaşım grubu		Malzeme			Talaşlı imalata uygunluk ve işlemden geçirilebilirlik	Olağan uygulamalar	Talaşlı imalattan geçme düzeyi
		Gösterge	Sembol (EN)	Sembol (UNS)			
İşlenmiş Bakır Alaşımları	Düşük alaşımlı bakır alaşımları (alaşım elementleri < %5) - soğuk halde sertleştirilebilir	CuBe2	CW101C	C17200	–	Yüksek güçlü parçalar	20
		CuCo2Be	CW104C	C17500	Yüksek sıcaklıkta stabilite	Direnç kaynak elektrodları	40
		CuCr1Zr Damgalı durum, soğuk biçimli malzeme standart-la tanımlanmıyor	CW106C	C18150	Yüksek sıcaklıkta stabilite	Direnç kaynak elektrodları, kontak elementleri	20
		CuNi1Si	CW109C	–	–	Ağır görev vidaları, somunlar, cıvatalar; silindir rulman kafesleri; püskürtme nozulları; rulman bujileri, sertleştirilmiş durum uygulamaları	–
		CuNi2Si	CW111C	C64700	Yüksek çekme dayanımı	Sertleştirilmiş durumda	–
		CuNi3Si1	CW112C	C70250	Yüksek çekme dayanımı	Kalıp parçaları	–
	Düşük alaşımlı bakır alaşımları (alaşım elementleri < % 5) - sertleştirilemez	CuSi3Mn1	CW116C	C65500	–	–	30
	Bakır-kalay alaşımı	CuSn5Pb1	CW458K	C53400	–	–	70
	İkili bakır -çinko alaşımları	CuZn36	CW507L	C27200	Soğuk çalışma için ana alaşım	Derin çekmeli parçalar	–
		CuZn37	CW508L	C27400	İyi lehimlenebilirlik, kaynak yapılabilirlik ve soğuk çalışabilirlik	Vidalar, sığ perçinleme	35
		CuZn40	CW509L	C28000	–	Duvar ve kol saati kılıfları	40
	Çoklu bileşen bakır-çinko alaşımları	CuZn31Si1	CW708R	C69800	Kayan yükler için	Rulman bujileri; kılavuzlar	–
		CuZn35Ni3Mn2AlPb	CW710R	–	–	Deniz pervanesi şaftları	–
		CuZn37Mn3Al2PbSi	CW713R	–	Kayan uygulamalar için yüksek güçlü yapısal malzeme	Senkronize halkalar; düz rulmanlar; subap rulmanları; dişli bileşenleri; piston halkaları	–
		CuZn38Mn1Al	CW716R	–	Kayan uygulamalar için orta güçlü yapısal malzeme	Düz rulmanlar; kayan unsurlar	–
		CuZn39Sn1	CW719R	C46400	–	Yoğuşturucular için düz rulmanlar; deniz pervane şaftları	30
		CuZn40Mn2Fe1	CW723R	–	–	Subaplar; damper çubukları	–

Tablo 22a: Standartlaştırılmış bakır esaslı malzemelerin talaşlı imalata uygunluk sınıflandırması.

Talaşlı imalata uygunluk grubu II: İyi ve orta dereceli talaşlı imalat nitelikleri olan bakır esaslı malzemeler.

Alaşım grubu		Malzeme			Talaşlı imalata uygunluk ve işlemden geçirilebilirlik	Olağan uygulamalar	Talaşlı imalattan geçme düzeyi
		Gösterge	Sembol *(EN)*	Sembol *(UNS)*			
Bakır döküm alaşımları	Bakır-çinko döküm alaşımları	*CuZn16Si4-C*	*CC761S*	*C87800*	Elektrik mühendisliği uygulamaları için yüksek güçlü parçalar	Elektrik mühendisliği uygulamaları için yüksek güçlü ve ince duvarlı parçalar	*40*
		CuZn25Al5Mn4Fe3-C	*CC762S*	*C86100*	–	Sonsuz dişli çarkları; yüksek basınç subaplarının iç bölümleri	*30*
		CuZn32Al2Mn2Fe1-C	*CC763S*	–	–	–	–
		CuZn34Mn3Al2Fe1-C	*CC764S*	–	–	Subap parçaları; kontrol elementleri; konik tapalı vanalar	–
		CuZn37Al1-C	*CC766S*	–	–	Hassas mühendislik uygulamaları için sürekli kalıp dökümleri	–
		CuZn38Al-C	*CC767S*	–	–	Elektrik ve makine mühendisliği uygulamaları için sürekli kalıp dökümleri	–
	Bakır-kalay döküm alaşımı	*CuSn11Pb2-C*	*CC482K*	–	Yüksek karıncalanmama özelliği	Ağır görev düz rulmanları (yüksek sürekli ve etki yükleri)	–

Tablo 22b: Standartlaştırılmış bakır esaslı malzemelerin talaşlı imalata uygunluk sınıflandırması

Talaşlı imalata uygunluk grubu II: İyi ve orta dereceli talaşlı imalata uygunluk özellikleri olan bakır esaslı malzemeler

Alaşım grubu		Malzeme			Talaşlı imalata uygunluk ve işlemden geçirilebilirlik	Olağan uygulamalar	Talaşlı imalattan geçme düzeyi
		Gösterge	Sembol (EN)	Sembol (UNS)			
Dövme Bakır Alaşımları	Bakır	Cu-OFE	CW009A	C10100	En yüksek elektrik iletkenliği	Vakum ve elektronik uygulamalar	20
		Cu-HCP	CW021A	–	Yüksek elektrik iletkenliği; iyi kaynak edilebilirlik ve sert lehimlenebilirlik	Elektrik motorları için kayma burçları	–
		Cu-DHP	CW024A	C12200	İyi kaynak edilebilirlik ve sert lehimlenebilirlik	Yakıt ve petrol boruları	20
	Yaşlandırma sertleştirmesi yapılmayan düşük alaşımlı bakır alaşımları	CuAg0,10	CW013A	C11600	–	Kontaklar; komütatör halkaları	20
		CuAg0,1P	CW016A	–	İyi lehimlenebilirlik, sert lehimlenebilirlik ve kaynak yapılabilirlik	Kontaklar; komütatör halkaları	–
		CuSn0,15	CW117C	C14200	–	Konektör pimleri	20
	Düşük alaşımlı bakır alaşımları (alaşım elementleri <%5) soğuk iş ve çökertme sertleştirmesi ile sertleştirilebilir. Farklı durum EN 12163 standardına göre farklılıklar -sertleştirilmemiş duruma bakınız	CuBe1,7	CW100C	C17000	–	–	20
		CuBe2	CW101C	C17200	–	Yüksek güçlü yaylar	20
		CuCo2Be	CW104C	C17500	Yüksek sıcaklık stabilitesi	Direnç kaynak elektrodları	40
		CuCr1Zr	CW106C	C18150	Yüksek sıcaklık stabilitesi	Direnç kaynak elektrodları; sürekli döküm kalıpları	20
		CuNi1Si	CW109C		Orta gerilim gücü; iyi elektrik iletkenliği	CuNi1Si ile aynı	20
		CuNi2Be	CW110C	C17510	Yüksek çekme dayanımı; iyi elektrik iletkenilği	Havai hatlarda akım taşıyıcı bileşenler (vidalar, rulman bujileri, kontaklar)	–
		CuNi2Si	CW111C	C64700	Yüksek çekme dayanımı	Somunlar	30
		CuNi2SiCr	–	–	–	Kaynak uygulamaları; dökme alüminyum ve magnezyum	40
		CuNi3Si1	CW112C	C70250	Yüksek çekme dayanımı	Kalıp parçaları	–
		CuZr	CW120C	C15000	–	–	20
	Bakır - alüminyum alaşımları	CuAl5As	CW300G	C60800	Tuz çözümleri için özellikle iyi aşınma direnci	–	20
		CuAl8Fe3	CW303G	C61400	Tuz-su direnci; kükürtlü ve asetik asitlere direnç; antimanyetik	Subap oturakları ve ateşleme motorları	20
		CuAl10Fe3Mn2	CW306G	–	Motor ve dişli parçaları titreşime ve yıpranmaya maruz, yüksek güçlü somunlar ve cıvatalar, şaftlar, miller, sonsuz vidalı çalışma düzeni, dişli tekerleri	Rulman bujileri, makine mühendisliği ve proses teçhizatı uygulamaları	–
		CuAl10Ni5Fe4	CW307G	C63000	Sert; çok dirençli, yüksek yük direnci, iyi tuz - su direnci	Gösterge rulmanları; şaftlar; vidalar; ateşleme motorları için yıpranma parçaları; kalıp yapımı	20
		CuAl11Fe6Ni6	CW308G	–	Yüksek çekme dayanımı	Mil ucu rulmanları; subaplar; biçimlendirme kalıpları	–

Tablo 23a: Standartlaştırılmış bakır esaslı malzemelerin talaşlı imalata uygunluk sınıflandırması

Talaşlı imalata uygunluk grubu III: orta dereceli ve zayıf talaşlı imalat özellikleri olan bakır esaslı malzemeler

Alaşım grubu		Malzeme			Talaşlı imalata uygunluk ve işlemden geçirilebilirlik	Olağan uygulamalar	Talaşlı imalattan geçme düzeyi
		Gösterge	Sembol (EN)	Sembol (UNS)			
İşlenmiş bakır alaşımları	Bakır-nikel alaşımları	CuNi25	CW350H	C71300	Aşınma dayanımlı, gümüş- beyaz renk	–	–
		CuNi10Fe1Mn	CW352H	C70600	–	Fren boruları; ara soğutucular	20
		CuNi30Mn1Fe	CW354H	C71500	–	Elektrik kontakları	20
	Bakır-nikel-çinko alaşımları	CuNi12Zn24	CW403J	C75700	Mükemmel biçimlendirme	Optik ve hassasiyet mühendisliği bileşenleri	20
		CuNi18Zn20	CW409J	–	–	Gözlük çerçevesi parçaları; zarlar; konektörler	–
	Bakır-kalay alaşımları	CuSn4	CW450K	C51100	–	Kurşun çerçeveler; konektörler	20
		CuSn5	CW451K	C51000	–	Bağlayıcı çubuk rulmanlar	20
		CuSn6	CW452K	C51900	–	Dişli tekerleri; bujiler; pompa parçaları; duvar / kol saati bileşenleri; konektörler; hortum tüpleri; Bourdon tüpleri	20
		CuSn8	CW453K	C52100	–	Sonsuz dişliler; dişli tekerleri; somunlar; vidalar; küçük uçlu bujiler; ayaklı rulmanlar; kamalı pimler	20
		CuSn8P	CW459K	–	–	Sonsuz dişli çarkları; dişli parçaları; ağır görev düz rulmanları; göstergeler; egsoz gazı sistemlerindeki subap kılavuzları; küçük uçlu bujiler; kamalı şaft rulmanları; ayaklı rulmanlar; hidrolik silindir rulmanları; pompa bileşenleri	30
	İkili bakır-çinko alaşımları	CuZn5	CW500L	C21000	Soğuk olarak mükemmel çalışabilme	Elektrik tesisatı bileşenleri; rotor çubukları; saat imali bileşenleri	20
		CuZn10	CW501L	C22000	Soğuk olarak mükemmel çalışabilme	Saat yapımı sektörü	20
		CuZn15	CW502L	C23000	Soğuk olarak mükemmel çalışabilme	Esnek körük	30
		CuZn20	CW503L	C24000	Soğuk olarak mükemmel çalışabilme	Basınç göstergeleri	30
		CuZn28	CW504L	–	Soğuk olarak mükemmel çalışabilme	Körük; müzik aleti parçaları	–
		CuZn30	CW505L	C26000	Soğuk olarak mükemmel çalışabilme	Konektörler; radyatör kenarı	30
		CuZn33	CW506L	C26800	Soğuk olarak mükemmel çalışabilme	–	30
	Çoklu bileşen bakır-çinko alaşımları	CuZn20Al2As	CW702R	C68700	–	Tüp yoğuşturucular; ısı eşanjörleri	30
		CuZn28Sn1AS	CW706R	C44300	–	Isı eşanjör tüpü levhaları	30

Tablo 23b: Standartlaştırılmış bakır esaslı malzemelerin talaşlı imalata uygunluk sınıflandırması

Talaşlı imalata uygunluk grubu III: orta dereceli ve zayıf talaşlı imalat özellikleri olan bakır esaslı malzemeler

Alaşım grubu		Malzeme			Talaşlı imalata uygunluk ve işlemden geçirilebilirlik	Olağan uygulamalar	Talaşlı imalattan geçme düzeyi
		Gösterge	Sembol (EN)	Sembol (UNS)			
Bakır döküm alaşımları	Bakır döküm alaşımları	CuCr1-C	CC140C	–	–	Kaynak elektrodu tutucuları; kontak elektrodları	–
	Bakır-kalay döküm alaşımları	CuSn10-C	CC480K	C90700	Tuz-su geçirmez	Subap ve pompa gövdeleri; pompalar ve su türbinleri için statörler, rotorlar ve pervaneler	20
		CuSn12-C	CC483K	C90800	Tuz-su geçirmez; aşınma dayanımlı	Kardan mafsalı rulmanları, kuplajlar; ağır yükler için bilya vida somunları; sonsuz dişli çarkları ve helezon dişli çarkları	–
		CuSn12Ni2-C	CC484K	C91700	Tuz-su geçirmez; aşınma dayanımlı	Kardan mafsalları rulmanları, kuplajlar; ağır yükler için bilya-vida somunları; sonsuz dişli çarkları ve helezon dişli çarkları; konik dişli çarkları; sonsuz dişli çarkları	20
	Bakır-alüminyum döküm alaşımları	CuAl10Fe2-C	CC331G	C95200	–	Konik dişli çarkları, senkronize halkalar; dişli seçici çatalları ve dişli seçici parçaları	20
		CuAl10Ni3Fe2-C	CC332G		–	–	–
		CuAl10Fe5Ni5-C	CC333G	C95500	İyi tuz-su direnci	Ağır görev krank şaft rulmanları ve göstergeler; ağır görev sonsuz dişli ve helezon çarkları; deniz pervanesi bileşenleri	50
	Bakır-nikel döküm alaşımları	CuNi10Fe1Mn1-C	CC380H	C96200	–	–	10
		CuNi30Fe1Mn1NbSi-C	CC383H	C96400	–	–	20

Tablo 23c: Standartlaştırılmış bakır esaslı malzemelerin talaşlı imalata uygunluk sınıflandırması

Talaşlı imalata uygunluk grubu III: orta dereceli ve zayıf talaşlı imalata uygunluk özellikleri olan bakır esaslı malzemeler

12 Matematiksel formüller

12.1 Denklemler

Sayısal denklemlerde girilecek miktarların boyutları verilmiştir.

1) Açıklık, kama ve tarak açıları (takım elde referans sistemi) arasındaki geometrik ilişki:

$$\alpha o + \beta o + \gamma o = 90° \quad (1)$$

2) Talaş kalınlığı sıkıştırması

$$\frac{h_{ch}}{h} > 1 \quad (2)$$

3) Talaş eni sıkıştırması

$$\frac{b_{ch}}{b} > 1 \quad (3)$$

4) Düz çizgide denklem

$$y = m \cdot x + n \quad (4)$$

5) Taylor takım ömrü konumu denklemi (kayıt-kayıt konumu vc karşısında T):

$$\log T = \log C_v + k \cdot \log v_c \quad (5)$$

6) Taylor fonksiyonu:

$$T = C_v \cdot v_c^{\,k} \quad (6)$$

burada:

T: dakika olarak takım ömrü

v_c: m/dak. olarak kesim hızı

k: takım - ömür yerleşiminde düz çizgi gradyanı (k=tan(α))

C_v: birim kesim hızı başına takım ömrü (v_c = 1 m/dak.)

Taylor denklemi aşağıdaki sonucu verecek şekilde yeniden düzenlenebilir:

$$v_c = T^{\frac{1}{k}} \cdot C_T \quad (6a)$$

7) C_T, C_v ve k, kesim şartlarının özelliklerini oluşturan miktarlardır:

$$C_T = C^{-\frac{1}{k}} \cdot \quad (7)$$

8) Geniş Taylor denklemi:

$$T = \frac{C_1}{a^{c_a} \cdot f^{c_f} \cdot v_c^{-k}} \quad (8)$$

burada:

T: dakika olarak takım ömrü

v_c dakika başına metre olarak kesim hızı

f devir başına mm ilerleme

a_p mm olarak kesim derinliği

k takım - ömür yerleşiminde düz çizgi gradyanı (k = tan α)

C_1 Boyutlu, deneysel olarak belirlenmiş sabite

C_a Boyutsuz sabite: kesim derinliği üssü

C_f Boyutsuz sabite: ilerleme üssü

9) Kesim kuvveti formülü (Kienzle/Victor):

$$F_c = b \cdot h^{(1-m_c)} k_{c1.1} \quad (9)$$

F_c N olarak kesim kuvveti

b mm olarak talaş eni

h mm olarak biçimi bozulmamış talaş kalınlığı

$1-m_c$ Belirli kesim gücündeki artışı yansıtan boyutsuz endeks

$k_{c1.1}$ N/mm^2 olarak belirli kesim kuvveti

10) İlerleme gücünün yaklaşık büyüklüğü

$$F_f \approx 0{,}3\ F_c \quad (10)$$

11) İlerleme ve pasif gücün yaklaşık büyüklüğü

$$F_p \approx F_f \approx 0{,}3\ F_c \quad (11)$$

12) Fiili kesim gücü:

$$P_e = F_e \cdot v_e = P_c + P_f \quad (12)$$

13) Kesim gücü:

$$P_c = F_c \cdot v_c \quad (13)$$

14) İlerleme gücü:

$$P_f = F_f \cdot v_f \quad (14)$$

15) Net makine gücü:

$$P'_{è} = \frac{F_c \cdot v_c}{60000} \quad (15)$$

$P_{e'}$ kW olarak net makine gücü

F_c N olarak kesim gücü

v_c dakika başına metre olarak kesim hızı

(N • m)/ (kW • dak.) olarak 60000 Dönüşüm faktörü

16) Çoklu nokta takımları için yaklaşık net makine gücü:

$$P'_{è} = \frac{V_w}{V_{wp}} \quad (16)$$

$P_{e'}$ kW olarak net makine gücü

V_w stok kaldırma oranı (cm^3/dak. olarak birim zaman başına kaldırılan çalışma malzemesi hacmi)

V_{wp} Belirli stok kaldırma oran • birim zaman başına ve tedarik edilen güç birimi cm^3/(dak. • kW) başına kaldırılan çalışma malzemesi hacmi

17) Belirli stok kaldırma oranı:

$$V_{wp} = \frac{V_w}{P_c} = \frac{A \cdot v_c}{F_c \cdot v_c} = \frac{A \cdot v_c}{k_c \cdot A \cdot v_c} = \frac{1}{k_c} \quad (17)$$

18) Belirli stok kaldırma oranı için sayısal denklem

$$V_{wp} = \frac{V_w}{P_c} = \frac{60000}{k_c} \quad (18)$$

V_{wp} cm^3/(dak. • kW) olarak belirli stok kaldırma oranı

V_w cm^3/dak. olarak stok kaldırma oranı

P_c kW olarak kesim gücü

k_c N/mm^2 olarak belirli kesim gücü

$cm^3 \cdot N/(mm^2 \cdot dak. \cdot kW)$ olarak 60000 Çevrim faktörü (= N • m/(kW • dak.)

19) Teorik olarak elde edilebilir zirveden-vadiye pürüzlülük:

$$R_{t,th} = r_\varepsilon - \sqrt{r_\varepsilon^{\,2} - \frac{f^2}{4}} \quad (19)$$

20) Teorik olarak elde edilebilir zirveden vadiye pürüzlülüğün yaklaşık ifadesi:

$$R_{t,th} \approx \frac{f^2}{8 \cdot r_\varepsilon} \quad (20)$$

21) Belirli bir zirveden-vadiye pürüzlülük ve belirli bir burun yarıçapı için teorik ilerleme ayarları:

$$f \approx \sqrt{8 \cdot r_\varepsilon \cdot R_{t,th}} \quad (21)$$

22) Takım ömrü başına takım maliyeti:

$$K_{WT} = \frac{K_{Wa}}{n_T} + K_{Ww} \left(+ K_{Ws}\right) \quad (22)$$

burada:

K_{WT} € cinsinden takım ömrü başına takım maliyeti

K_{Wa} € cinsinden takımın satınalma fiyatı

n_T takım başına takım ömrü sayısı (katı ayaklı takımlar yada sert lehimlenmiş parçalar için: n_T = yeniden taşlama sayısı; endekslenebilir kesim parçaları için; n_T = parça başına kesim kenarı sayısı)

K_{Ww} yıpranmış takımı değiştirmekle bağlantılı € cinsinden maliyet

K_{Ws} takımın yeniden öğütülmesi için € cinsinden maliyet (endekslenebilir parçaların kullanılması halinde geçerli değildir)

23) Tek bir parça imal etmenin takım maliyeti:

$$K_{W1} = \frac{K_{WT}}{z_T} \quad (23)$$

burada:

K_{W1} Tek bir parça imal etmenin € cinsinden takım maliyeti

n_{WT} Tek bir takım ömründe talaşlı imalattan geçirilen parça sayısı

24) Tek bir parça imal etmenin toplam maliyeti:

$$K_1 = t_{h1} \cdot R + K_{fix} + K_{W1} = K_{th1} + K_{fix} + K_{W1} \quad (24)$$

burada:

K_1 € cinsinden birim ürün başına toplam imalat maliyeti

t_{h1} dakika olarak parça başına talaşlı imalat süresi

K_{fix} € cinsinden sabit maliyet (v_c kesim hızından bağımsız olarak)

K_{th1} € cinsinden talaşlı imalat maliyeti

R €/dak. cinsinden operatör ve makine için maliyet düzeyi (takım maliyetleri hariç)

25) Optimum maliyetli takım ömrü:

$$T_{oK} = \frac{(-k-1) \cdot K_{WT}}{R} \quad (25)$$

burada:

T_{oK} = dak. olarak optimum maliyetli takım ömrü

$-k$ = takım - ömür yerleşiminde düz çizgi gradyanı

K_{WT} = Denklem (22)'de tanımlandığı şekilde € cinsinden takım ömrü başına takım maliyeti

R = Operatörün ve makinenin €/dak. cinsinden maliyet düzeyi (takım maliyetleri hariç)

26) Yüz frezeleme işlemlerinde biçimi bozulmamış talaş kalınlığı:

$$h_m = \frac{114{,}6°}{\varphi_s°} \cdot f_z \cdot \sin(\kappa) \frac{a_e}{D} \quad (26)$$

27) Çevresel frezeleme işlemlerinde biçimi bozulmamış talaş kalınlığı:

$$h_m = \frac{114{,}6°}{\varphi_s°} \cdot f_z \cdot \frac{a_e}{D} \quad (27)$$

burada:

h_z = diş ve devir başına biçimi bozulmamış talaş kalınlığı

f_z = diş ve devir başına ilerleme

κ = diş kesimi kenar açısı

φ_s = kesici uygulama açısı

h_m = biçimi bozulmamış talaşın ortalama kalınlığı

a_p = kesim derinliği (ilerleme)

a = çalışma kullanımı (kesimin yarıçap derinliği)

D = freze kesicinin çapı

12.2 semboller ve kısaltmalar

Sembol veya kısaltma	Birim	İsim / Açıklama
a_p	mm	Kesim derinliği
a_e	mm	Çalışma kullanımı (kesimin yarıçap derinliği)
A	mm^2	Kesilmemiş talaş alanı
ABS	–	Birilim kenar
A_5	%	Çatlaktan sonra uzama
b	mm	Biçimi bozulmamış talaş eni
b_{ch}	mm	Talaş eni
b_f	mm	Talaş kırıcının eni
C_a	–	Geniş Taylor denkleminde sabite: kesim derinliği üssü
C_f	dak.	Geniş Taylor denkl eminde sabite: ilerleme üssü
C_T	m/ dak.	Taylor denkleminde sabite: T = 1 dak. iken ∧ V_C
C_v	dak.	Taylor denkleminde sabite: V_C = 1 m/dak. iken ∧ T
C_1	Boyutlu	Geniş Taylor denkleminde sabite
d	mm	Çap (Delgi deliğinin, delginin, freze kesicinin, v.s.)
ε	%	Biçim bozulması derecesi
E	N/mm^2	Elastiklik katsayısı
f	mm/U	Devir başına ilerleme
f_h	–	Kesilmemiş talaş kalınlığının kesim gücü üzerindeki etkisi için değerlendirilen düzeltme faktörü
f_z	mm/diş	Diş başına ikmal
F	N	Toplam kesim gücü
F_a	N	Aktif güç
F_c	N	Kesim gücü
$F_{c,n}$	N	Dikey (normal) kesim gücü
F_e	N	Fiili güç
$F_{e,n}$	N	Dikey (normal) fiili güç
F_f	N	İlerleme gücü
$F_{f,n}$	N	Dikey (normal) ilerleme gücü
F_n	N	Dikey (normal) güç
F_p	N	Pasif güç
F_t	N	Tanjant güç
h	mm	Biçimi bozulmamış talaş kalınlığı
h_{ch}	mm	Talaş kalınlığı
$h_{c,1}$	mm	Normalleştirilmiş kesilmemiş talaş kalınlığı, $h_{c,1}$ = 1mm
h_f	mm	Talaş kırıcı derinliği
h_m	mm	Biçimi bozulmamış talaşın ortalama kalınlığı
h_{min}	mm	Biçimi bozulmamış talaşın asgari kalınlığı
h_z	mm/diş	Diş başına kesilmemiş talaş kalınlığı
HB	–	Brinell sertliği
HM	–	Karbür
HM-PCD	–	Polikristalin elmas kaplamalı karbür
HSS	–	Yüksek hızlı çelik

Sembol veya kısaltma	Birim	İsim / Açıklama
HV	–	Vickers sertliği
HRC	–	Rockwell sertliği
k	–	Taylor takım - ömrü yerleşiminde düz çizgi gradyanı
k_c	N/mm²	Belirli kesim gücü
$k_{c1.1}$	N/mm²	Belirli kesim gücünün başlıca değeri
K	–	Krater oranı
KB	mm	Krater eni
KL	mm	Krater dudağı eni
KM	mm	Krater merkezinin takım kenarından uzaklığı
KT	mm	Krater derinliği
K_{fix}	€	Sabit maliyetler (kesim hızından bağımsız olarak)
K_M	boyutlu	Sabite;delgi tipinden, takım malzemesinden ve çalışma malzemesinden bağımsız olarak
K_{th1}	€	Talaşlı imalat süresi maliyetleri
K_{Wa}	€	Takımın satınalma maliyeti
K_{Ws}	€	Takım yeniden taşlama maliyeti
K_{WT}	€	Takım ömrü başına takım maliyeti
K_{Ww}	€	Yıpranmış takımın değiştirilmesiyle bağlantılı maliyetler
K_{W1}	€	Takım başına toplam maliyet
K_1	€	Birim ürün başına toplam imalat maliyeti
L	mm	Delik derinliği, delgili oyuk uzunluğu
M_D	Nm	Tork
n	devir/dak.	Tornalama hızı, dönüş hızı
n_T	–	Takım ömrü sayısı (n_T = katı alet başına; n_T = 1; kesici kenar sayısı, endekslenebilir kesici parça için
p	bar	Basınç
P_c	kW	Kesici güç
P_e	kW	Fiili kesici güç
$P_{e'}$	kW	Net makine gücü
P_f	kW	İlerleme gücü
r_e	mm	Kesici takımın burun yarıçapı
R	€/dak.	Operatör ve makine başına maliyet düzeyi
R_a	µm	Orta düzey pürüzlülük derinliği
R_e	N/mm²	Verim noktası
R_m	N/mm²	Gerilim gücü
$R_{p0,2}$	N/mm²	%0.2 verim gücü
R_t	µm	Maksimum pürüz derinliği
$R_{t,th}$	µm	Teorik olarak elde edilebilir zirveden vadiye pürüzlülük
SV	mm	Kesici kenar yer değişimi
SV_α	mm	Dış yan – yan kesici kenar yer değişimi
SV_γ	mm	Yüz-yan kesim kenarı yer değişimi
t	dak.	Kesim süresi
t_{h1}	dak.	Parça başına takımın kesim süresi

Sembol veya kısaltma	Birim	İsim / Açıklama
T	dak.	Takım ömrü
T_{oK}	dak.	Optimum maliyetli takım ömrü
v_c	m/dak.	Kesim hızı
v_e	m/dak.	Nihai kesim hızı
v_f	m/dak.	İlerleme hızı
v_{oK}	m/dak.	Optimum maliyetli kesim hızı
v_{ot}	m/dak.	Optimum süreli kesim hızı
V	mm^3	Yıpranma hacmi
VB	mm	Dış yan yıpranma bölgesinin eni
Q	cm^3/dak.	Malzeme kaldırma düzeyi veya stok kaldırma düzeyi (birim zaman başına kaldırılan çalışma malzemesi hacmi)
V_{wP}	cm^3/dak. · kW	Belirli stok kaldırma düzeyi (makine gücü birimi başına malzeme kaldırma düzeyi)
W_c	N · m	Kesim enerjisi
x	mm	Yükseklik karşılama, yükseklik eşleşmesi eksikliği
z	–	Freze kesici başına diş sayısı
n_{WT}	–	Takım ömrü başına talaşlı imalattan geçirilmiş çalışma parçası sayısı
α	derece	Düz çizginin helezon açıklığı
α_o	derece	Dikey açıklık (yada rahatlatma) açısı
α_f	derece	Pahlama açıklığı (yada rahatlatma) açısı
α_n	derece	Ufak yan kenar açıklığı (yada rahatlatma) açısı
α_x	derece	Yan açıklık (yada rahatlatma) açısı
β_o	derece	Dikey kama açısı
β_f	derece	Pahlama kama açısı
β_x	derece	Yan kama açısı
γ_o	derece	Dikey tarak açısı
γ_f	derece	Pahlama tarak açısı
γ_x	derece	Yan tarak açısı
ε	derece	Takım dahil açı
ε_o	%	Yırtılma düzlemindeki biçim bozulması derecesi
κ_r	derece	Kesici kenar açısı
κ_n	derece	Ufak kesici kenar eğilimi
λ	derece	Kesici kenar eğilimi
σ	derece	Delgi noktası açısı
τ	da N/mm^2	Yırtılma gücü
φ	derece	İlerleme hareketi açısı
φ	derece	Freze kesici dişlisi yaklaşım açısı
φ_s	derece	Kesici kullanım açısı
ψ	derece	Yontma kenarı açısı
ω	1/s	Açısal hız

13 Referanslar

[1]
Thiele Jr., Eugene W.; Kundig, Konrad J.A.: Pirinç, Çelik ve Alüminyum Alaşımlarının Karşılaştırmalı Talaşlı İmalatı; CDA'nın Evrensel Talaşlı İmalat Endeksi, SAE International, Dokumenten Nummer: 900365; Şubat 1990

[2]
www.kupferinstitut.de

[3]
www.wieland.de

[4]
König, W. und Essel, K.: Spezifische Schnittkraftwerte für die Zerspanung metallischer Werkstoffe
[Metalik malzemeler için özel kesim gücü verileri]
Verlag Stahleisen M.B.H, Düsseldorf: 1973

[5]
Fleming, M.: Werkzeugkonzepte für das Drehen von Getrieben mit PCBN
[Dişlilerin PCBN ile tornadan geçirilmesi için takım konseptleri] Industrial Diamond Review 39 (2005) Nr. I, S.23/28

[6]
Warnecke, G.: Spanbildung bei metallischen Werkstoffen
[Metalik malzemelerden talaş oluşumu]
München: Technischer Verl ag. Resch: 1974

[7]
Vieregge, G.: Zerspanung der Eisenwerkstoffe
[Demir malzemelerin talaşlı imalatı]
Band 16 der Stahl-Eisenbücher Verlag Stahleisen Düsseldorf: 1970, 2.Aufl.

[8]
Victor, H. und Zeile, H.: Zerspanungsuntersuchungen und Schnittkraftmessungen an Kupferwerkstoffen
[Bakır malzemelerin talaşlı imalat ve kesim gücü verileri hakkında araştırma]
wt-Z. ind. Fert. 62 (1972) 663-665

[9]
Victor, H.: Schnittkraftberechnungen für das Abspanen von Metallen
[Metaller için kesim gücü verilerinin hesaplanması]
wt-Z. ind. Fert. 59 (1969) 317-327

[10]
Kienzle, O.: Die Bestimmung von Kräften und Leistungen an spanenden Werkzeugen und Werkzeugmaschinen
[Talaşlı imalat takımlarının güçlerinin ve kapasitelerinin belirlenmesi]
Z.VDI 94 (1952) S.299-305

[11]
N.N.: Gümüş Rulman karşısında Gümüşsüz Bakırın Metal Kesim Araştırması, Copper Range Company: New York 1964.

[12]
Ausschuss für wirtschaftliche Fertigung: "Arbeitsergebnisse – AWF-Betriebsblatt 158"
[Ekonomik imalat heyeti: "Çalışma sonuçları – AWF çalışma belgesi 158"]
Beuth-Verlag, Berlin,

[13]
Sadowy, M.: Untersuchungen zur Theorie der Fließspanbildung. III Schnittkräfte, Spanformen und Spanstauchung
(Fortsetzung) [Sürekli talaş oluşumu III Kesim güçleri, talaş biçimleri ve sıkıştırmaları teorisi araştırması (Devamı)
Maschinenmarkt 73 (1967) 10, S.167-174

[14]
Philipp, H.: Über Messungen der spezifischen Schnittkräfte beim Walzenfräsen
[Haddeleme sırasında belirli kesim güçlerinin ölçümleri]
Werkstatt und Betrieb 92 (1959) 4, S.179-187

[15]
König, W. und Erinski, D.: Untersuchungen der Zerspanbarkeit von Kupfer-Gusslegierungen
[Bakır döküm alaşımlarının talaşlı imalata uygunluğunun incelenmesi]
Forschungsvorhaben AIF-Nr. 4572
Laboratorium für Werkzeugmaschinen und Betriebslehre der RWTH Aachen (1982)

[16]
Schallbroch, H.: Die Beurteilung der Zerspanbarkeit von Metallen
[Metallerin talaşlı imalata uygunluğunun değerlendirmesi]
Z. VDI 77 (1933) 965-971

[17]
Djaschenko: Die Beschaffenheit der Oberfläche bei der Zerspanung mit Hartmetall
[Sert metal talaşlı imalatı sırasındaki yüz özelliği]
VEB-Verlag Technik, Berlin 1953

[18]
Burmester und Burmester: Maßgebliche Einflussgrößen beim Drehen von

Flächen mit kleinen Rautiefewerten
[Ufak miktarda zirveden vadiye pürüzlülükle tornanın ilgili faktörleri]
Maschinenmarkt 86 (1980) Nr. 60, S. 1163 ff

[19]
Kluft, W., König, W., Luttervelt, C. A. van, Nakayama, K., Pekelharing, A. J.: Talaş Kontrolünün Güncel Bilgileri.
Annals of the Cirp 28 (1979) 2, S. 441/455.

[20]
N.N.: Ecobrass Stangen – Drähte – Profile – Rohre
[Eko Pirinç Çubuklar – Teller – Kesitler – Tüpler]
Firmenschrift der Wieland-Werke AG, Ulm, 2006

[21]
Klocke, F.; König, W.: Fertigungsverfahren 1 – Drehen, Fräsen, Bohren

[Üretim süreci 1 – Torna, freze, delgi]
Aufl.8, Springer, Berlin: 2008

[22]
N.N.: Messingzerspanung mit PKD
[Pirincin PKD ile talaşlı imalatı]
Diamond Buisiness 34 (2008) 3, S. 34/35

[23]
Dawihl und Dinglinger: Handbuch der Hartmetallwerkzeuge
[Sert metal takımlar kılavuzu]
Bd.1. Berlin, Göttingen, Springer-Verlag, Heidelberg: 1953

[24]
Krist, T.: Metallindustrie – Zerspantechnik – Verfahren, Werkzeuge,

Einstelldaten [Metal endüstrisi – Metal tekniği – Proses, takımlar, ayar verileri]
Hoppenstedt Technik Tabellen Verlag Darmstadt: 1993, 22. Auflage

[25]
Paulo Davim, J.; Sreejith, P. S.;
Silva, J.: Asgari Miktarda Makine Yağı (MQL) Kullanılarak Pirincin Tornadan Geçirilmesi ve Suyla Kaplı Makine Yağı Şartları.
Malzemeler ve İmalat Prosesleri,
22, 2007, S. 45–50

[26]
Witthoff, J. Die Ermittlung der günstigsten Arbeitsbedingungen bei der spanabhebenden Formung
[Metal kesim tekniklerinin en verimli çalışma şartlarının tespiti]
Werkstatt und Betrieb 85 (1952) H. 10,
S. 521 ff

[27]
Voss: Optimierung spanender Fertigung
[Talaşlı imalat proseslerinin optimize edilmesi]
Technischer Verlag Resch KG,
Gräfelfing: 1976

[28]
Burmester und Burmester: Schnitt-datenoptimierung an simultan spanenden Werkzeug-Kollektiven
[Eşzamanlı talaşlı imalat takımlarının kesim verileri optimizasyonu]
Technisches Zentralblatt für Metall-bearbeitung, 1981

[29]
Spenrath, N. M.: Technologische Aspekte zum Feinstdrehen von Kupferspiegeln
[Bakır reflektörlerin mikro talaşlı imalatının teknolojik yönleri]
Tez RWTH Aachen, 1991

[30]
Linke, B.: Wirkmechanismen beim Abrichten von keramisch gebundenen Schleifscheiben
[Vitrifiye bağlı taşlama tekerlerinin gerçek işleyişi hakkında MOA]
Tez RWTH Aachen: 2007

[31]
Riemer, O.: Trennmechanismen und Oberflächenfeingestalt bei der Mikrozerspanung kristalliner und amorpher Werkstoffe
[Kristalin ve şekilsiz malzemelerin mikro hassasiyetle talaşlı imalatının ayrıştırma mekanizması ve yüzey sonlandırması]
Tez Universität Bremen, 2001

[32]
Brecher, C. (Hrsg.); Niehaus, F.;
et al.: Hibrid Optiklerin Serbest Biçimli Yüzeylerinde Mikro Yapıların Sağlam Talaşlı İmalatı için Makine ve Proses Gelişimi.
Apprimus Aachen, 2009,
ISBN 978-3-940565-79-2

[33] www.sarbak.com.tr

[34] www.ekosari.com

14 Standartlar, yönetmelikler ve kılavuz kurallar

DIN 1414-1/2
Technische Lieferbedingungen für Spiralbohrer aus Schnellarbeitsstahl – Teil 1: Anforderungen. [Yüksek hızlı çeliğin bükmeli delgilerinin teknik özellikleri – Bölüm 1: Gereklilikler.] Beuth-Verlag, Berlin

DIN 343
Aufbohrer (Spiralsenker) mit Morse-kegelschaft. [Mors konik ayaklı öbek delgiler.] Beuth-Verlag, Berlin.

DIN 344
Aufbohrer (Spiralsenker) mit Zylinderschaft, [Paralel ayaklı öbek delgiler.] Beuth-Verlag, Berlin.

DIN 222
Aufsteck-Aufbohrer (Aufsteck-Senker), [Kabuklu delgiler.] Beuth-Verlag, Berlin.

DIN 8022
Aufsteck-Aufbohrer (Aufsteck-Senker) mit Schneidplatten aus Hartmetall. [Sert metal uçlu kabuklu öbek delgiler.] Beuth-Verlag, Berlin

DIN 8043
Aufbohrer mit Schneidplatten aus Hartmetall. [Karbür uçlu öbek delgiler.] Beuth-Verlag, Berlin.

CEN/TS 13388
Kupfer und Kupferlegierungen Übersicht über Zusammensetzungen und Produkte, [Bakır ve bakır alaşımları - Bileşimler ve ürünler derlemesi.] Berlin: Beuth Verlag

DIN EN 1982
Kupfer und Kupferlegierungen - Blockmetalle und Gussstücke, [Bakır ve bakır alaşımları – Külçeler ve dökümler.] Berlin: Beuth Verlag

DIN 6580
Begriffe der Zerspantechnik; Bewegungen und Geometrie des Zerspanvorganges, [Talaş kaldırma terminolojisi; talaş kaldırma prosesinin hareketleri ve geometrisi.] Beuth Verlag, Berlin

DIN 6581
Begriffe der Zerspantechnik; Bezugssysteme und Winkel am Schneidteil des Werkzeuges, [Talaş kaldırma terminolojisi; takımın kesici parçasındaki referans sistemleri ve açıları.] Beuth Verlag, Berlin

DIN 6583
Begriffe der Zerspantechnik; Standbegriffe, [Kesim prosedürleri şartları; takım ömrü kriterleri.] Beuth Verlag, Berlin

DIN 6584
Begriffe der Zerspantechnik; Kräfte, Energie, Arbeit, Leistungen, [Kesim prosedürlerinin şartları; güç, enerji, çalışma, kuvvet.] Beuth Verlag, Berlin

DIN ISO 513
Klassifizierung und Anwendung von harten Schneidstoffen für die Bezeichnung der Hauptgruppen und Anwendungsgruppen Metallzerspanung mit geometrisch bestimmten Schneiden [Tanımlı kesim kenarlarıyla metal çıkarılması için sert kesim malzemelerinin sınıflandırılması ve uygulanması - Ana grupların ve uygulama gruplarının dağılımı]

DIN EN ISO 4957
Werkzeugstähle, [Takım çelikleri] Beuth Verlag, Berlin

DIN EN ISO 4287
Geometrische Produktspezifikation (GPS) – Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren – Benennungen, Definitionen und Kenngrößen der Oberflächenbeschaffenheit, [Geometrik Ürün Özellikleri (GPS) – Yüzey dokusu: Profil yöntemi – Şartlar, tanımlamalar ve yüzey dokusu parametreleri.] Beuth Verlag, Berlin

DIN 1837
Werkzeug Anwendungsgruppe zum Zerspanen, [Talaş kaldırma için takım uygulama grupları.] Beuth Verlag, Berlin

ASTM E618
Standart Test Otomatik Vida/Çubuk Makinesi Method Kullanıldığında Demir Metalin Talaş Performansının Değerlendirilmesi ASTM, 2007

TrinkwV 2001
Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch

2002/95/EC sayılı Yönerge
Avrupa Parlamentosu ve Konsey, 27 Ocak 2003 tarihli, belli tehlikeli maddelerin elektrik ve elektronik teçhizatta kullanımı kısıtlamaları – ROHS –Resmi Gazete L 037 , 13/02/2003 P. 0019-0023

2000/53/EC sayılı Yönerge
Avrupa Parlamentosu ve Konsey, 18 Eylül 2000, yaşam araçlarının sonu hakkında. –ELV- Resmi Gazete L 269 , 21/10/2000 P. 0034 – 0043

VDI Richtlinie 3321
Blatt 1: Optimierung des Spanens – Grundlagen. VDI-Verlag GmbH Düsseldorf

İNOVASYONUN ADI

EKO-SARI

YENİ NESİL KURŞUNSUZ PİRİNÇ ALAŞIMLARI

SAĞLIĞIMIZ İÇİN TERCİHİMİZ

www.ekosari.com

HEP İLERİ
ALWAYS FORWARD

SARBAK METAL
TİCARET ve SANAYİ A. Ş.

SAĞLIĞIMIZ İÇİN

EKO-SARI

YENİ NESİL KURŞUNSUZ PİRİNÇ ALAŞIMLARI

KURŞUNSUZLUK ÖZELLİĞİ

Günümüzde kurşunsuz pirinç alaşımları üretimi insan ve çevre sağlığı açısından önem kazanmıştır. EKOSARI ile kurşun sıfırlanmış ve bu bağlamdaki endişeler yok edilmiştir. EKOSARI özellikle içme suyu, kullanım suyu hatlarındaki ürünlerin, su saatleri, su armatürleri, bağlantı parçaları v.b. imalatında kullanılır.

İnovasyon, pirincin kurşunsuz olmasıdır.
Yuvarlak, altıköşe, kare, dikdörtgen, profil formunda çubuk- içi boş çubuk olarak ve sürekli, serbest döküm külçe formunda üretim yapılır. Külçeler; kum kalıba döküm, metal kalıba serbest döküm ve alçak basınç döküm yöntemiyle ergitilmek amacıyla kullanılır.
Günümüzde, insan sağlığına çok zararlı olan kurşunun suda izin verilen limit değeri milyarda 10 parçadır (10 ppb, 10 mikrogram / litre, AB -TS 265, 2005 standardı). 1 Ocak 2012'den itibaren kurşun limit değeri 10 mikrogram / litre'den 5 mikrogram / litre' ye düşecektir (NSF 61 Standardı).

Yüksek kurşun içeren ticari pirinçler bu limit değeri asla sağlayamazlar.

2010 yılında A.B.D'de ve Japonya'da bu standarta geçildi. 2013 yılında Avrupa'da da geçilecektir. Ülkemizde de Avrupa Birliği mevzuatı ile entegre olarak geçişin gerçekleşmesi çalışmaları devam etmektedir.

Ekosarı-Ecobrass/ Ecocast/ Cuphin ve Federalloy alaşımlarının uygunluğu EPA (Çevre Koruma Ajansı), NSF (Ulusal Bilim Vakfı), WHO (Dünya Sağlık Örgütü) vb. kuruluşlar tarafından, SDWA (Güvenli İçme Suyu Kanunu) vb. kanunlar ile takip edilmektedir.

Geri Dönüşüm

Diğer bütün bakır alaşımları gibi Ecosarı alaşımlarının geri dönüşebilirliği vardır.Talaşlar, silisyum içeriğinden dolayı diğer pirinç talaşları ile karıştırılmamalıdır.

Soğuk İş

Soğuk iş özellikleri çok iyidir. Yüksek mukavemet özellikleri ile birlikte yeterli uzama gösterir. Eğme, diş açma, perçinleme işlemleri rahatça gerçekleştirilebilir.

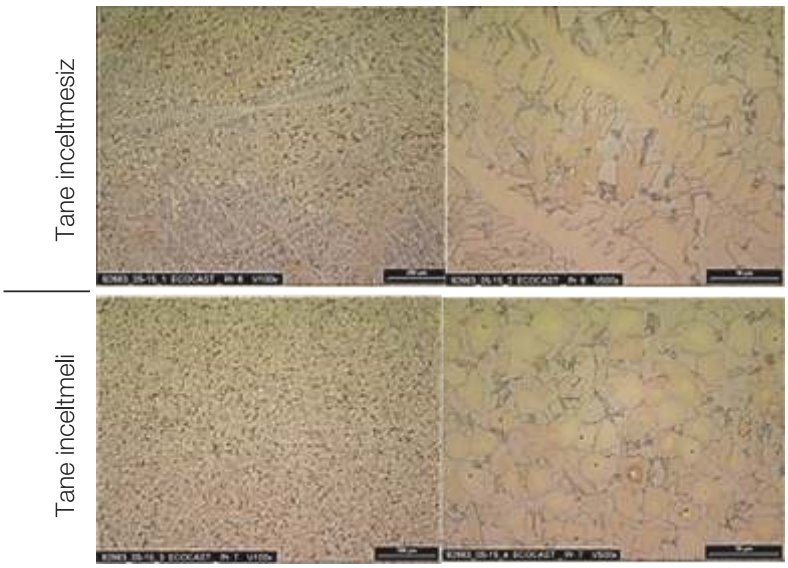
Yüzey İşlemleri

Standart pirinçlerle karşılaştırılabilecek kadar iyi polisajlanabilme ve elektro kaplama özelliklerine sahiptir.

Soğuk Perçinleme; İyidir.

Döküm Özellikleri ve Tane İnceltme

Ekosarı-Ecocast 'larda kurşunlu pirinçlerde uygulanan ve bilinen döküm ve tane inceltme pratiği geçerlidir. Mikroyapılar yeteri incelik ve eşeksenli olarak elde edilebilmektedir.



KULLANIM AVANTAJLARI

Ekosarı-Ecobrass/ Ecocast/ Cuphin

- Yüksek mekanik mukavemet ve aşınma dayanımı
- mükemmel döküm özellikleri
- iyi işlenebilirlik özellikleri
- iyi soğuk ve mükemmel sıcak iş özellikleri
- korozyon direnci (mükemmel çinkosuzlaşma, deniz suyu ve gerilmeli korozyon dayanımı)
- geri dönüşebilirlik
- kurşunsuz
- anti mikrobiyel

Talaşlı İmalat

Ecobrass, kurşunlu versiyon pirinçlerle karşılaştırılabilecek kadar iyi işlenebilirliğe sahiptir. Endüstri bulguları işleme talaşlarının kısa ve kırılgan olduğunu göstermiştir.

Dövme

Standart dövme pirinci olan CuZn40Pb2 ile kıyaslanabilecek kadar iyi dövme özellikleri görülmüştür.

EKOSARI–ECOBRASS/ ECOCAST/ CUPHIN GENEL KULLANIM ALANLARI

- Otomotiv Sektörü

  Sensör gövdeleri, termostat parçaları, sıvı konnektörleri

- Endüstri

  Cıvata, somun, valf, otomatik vidalama makinesi parçaları, su valf gövdeleri, kondansatör tüp plakaları, pnömatik fittingler, pompa parçaları

- Deniz Sanayi

  Deniz sanayi ürünleri, pervane şaftları

- Tesisat

  Musluk, musluk sistemleri, tesisat fittingleri, su sayacı gövdeleri

Ekosarı - kuruşunsuz pirinç;

Sürekli antimikrobiyel bir eylem içerisindedir ve mikropları öldürür.
Hiç bir kimyasal kullanılmaz.

İnsanlara ve çevreye zararlı değildir.

KURŞUNSUZ PİRİNÇ EKOSARI ve HİJYEN

Ekosarı-Ecobrass/ Ecocast/ Cuphin, kurşunsuz pirinç MRSA ve Clostridium difficile gibi hastane kökenli enfeksiyonlara karşı mücadelede etkin rol oynar. Dokunma yoluyla yayılan bu patojenlerin antimikrobiyel özellikli, hijyenik pirinç yüzeylerde birkaç saat içinde öldüğü tespit edilmiştir. Bu durum paslanmaz çelik veya plastik üzerinde olmaz.

NEDEN ANTİMİKROBİYEL KURŞUNSUZ PİRİNÇ?

Antibiyotiğe dirençli organizmalar; okullardaki ve hastanelerdeki ekipmanlar, mobilyalar, musluklar, sayaçlar ve bağlantı parçaları ile toplu taşıma araçları, kamu binaları, spor tesisleri v.b. alanlarda çok daha fazla olduğu için temas edilen yüzeylerde Ekosarı - kurşunsuz pirincin kullanımı yayılmıştır ve tercih edilmektedir.

EKOSARI-FEDERALLOY

Federalloy' da kurşun yerine Bizmut kullanılarak maksimum basınç sıkılığı ve kurşunlu pirinçlerin sahip olduğu karakteristik işlenebilirlik özellikleri ile karşılaştırılacak bir ürün elde edilir. Alaşım içindeki Bizmutun homojen olarak dağılmış olması, ürünün polisajlanabilmesini kolaylaştırır. Böylece parlak ve mücella bir görünüm elde edilir. Kurşunlu pirinçlerden daha iyi işlenebilirlik kazandırır ve bundan dolayı işleme maliyeti daha ucuzdur. Çinkosuzlaşmaya dayanımlı versiyonu da mevcuttur.

Döküm Özelliği

Kurşun, 327 °C de ergir. Bizmut ise 271°C' de ergimektedir ve periyodik cetvelde kurşundan sonra gelmektedir. Doğal olarak alaşımın döküm sıcaklığı düşmekte ve maliyet azalmaktadır. Düşük ergime sıcaklığında daha iyi döküm özelliği sağlanır. Bizmutlu Federalloylar kurşunlu muadilleri gibi uzama ve süneklik kalite testini garanti etmektedir. Temizleme maliyetleri düşer, döngü hızı artar. Federalloylar buharlaşmaz yapıda bir bileşime sahiptir. Federalloylar iyi kalitede mikroyapı karakteristiği sergiler.

Federalloy'lar da kurşunlu pirinçlerde uygulanan ve bilinen döküm pratiği geçerlidir. Mikroyapılar yeterli incelik ve eşeksenli olarak elde edilebilmektedir. Büyük ya da küçük parçaların dökümünde kurşunlu pirinçlerde döküm sıcaklığı alaşımın karakteristiğini çok etkilemektedir. Federalloy alaşımı ile kurşunlu pirinçlerden daha yüksek sıcaklıklarda döküm yapılabilir, buna rağmen döküm kalitesi düşmez.

EKO-SARI

SAĞLIKLI BİR

HAYAT

KURŞUNSUZ
PİRİNÇ

PİRİNÇ TARİHİ

Pirinç, bakırın bulunuşundan bu yana bakırla birlikte kullanılmaktaydı. Son bin yıldır pirinç bakırdan ayrı olarak özel mühendislik amaçları için kullanılmaya başlandı. Başlangıçta bakır ve kalay kullanılarak bronzdan kap, sahan gibi mutfak eşyaları yapılmaktaydı. Eski Mısır uygarlığı bakırı çok iyi tanıyordu ve Mısır hiyerogliflerde aynı zamanda sonsuz yaşamın da simgesi olan ankh sembolü ile gösterilmekteydi. Eski Mısırlılar, bakır ve bakır alaşımlarının kullanım ömürlerinin uzunluğunu takdir etmekteydiler. Kalay, daha kolay elde edilebiliyor olduğundan bronz günlük yaşamda daha çok kullanılmaktaydı. Pirinç altına benzerliğinden dolayı görsel amaçla kullanılmaktaydı. Antik Yunanlar pirince '*oros'* (dağ) ve '*chalcos*' (bakır) kelimelerinden oluşan 'oreichalcos' ismi vermişlerdi. Pirinci beyaz parlak bir bakır çeşidi olarak adlandırıyorlardı.

Romalılar pirince 'aurichalum' diyorlardı ve altın renkli miğferlerinin imalatında ve kuyumculuk işlemlerinde kullanmaktaydılar. Parlak altın renkli pirinçlerden değerli süs eşyası yapmak için %11-28 arası çinko oranlı alaşımlardan kullanmaktaydılar. Metal işiyle süslemeye en müsait süneklik sağlayan alaşımı %18 çinko oranlı kompozisyon olarak belirlemişlerdi. Bu, günümüzde de aynı işler için kullanılmakta olan 20/80 yaldız metallerine çok yakındır.

Çinkonun 420°C 'de ergimesi ve 906°C kaynaması ve bu arada oluşan çinko oksitlerin odun kömürü ile curuflarının alınıp saflaştırılmasının öğrenilmesi ancak 18. yüzyılda oldu. Saf çinko yokken pirinç yapmak için çinko-karbonat kristali olarak doğada bulunan smitsonit cevheri ile bakır, potada eritiliyordu. Isı, cevheri eritip sıvı metal haline getirdiğinde bakır ergimemiş oluyordu. Çinko buharı bakırın yüzeyinden nüfuz ederek pirinç formuna dönüşüyordu. Daha sonra alaşımı homojenleştirmek için tekrar ergitilmekteydi.

Ortaçağda hala saf çinko elde edilememekteydi. Çinko cevheri olan ve yapısında çinko oksit ile çok az demir oksit bulunduran kalamin mineralinden pirinç yapılabilmeye başlandı. Kilise anıtlarında taş yer döşemelerinin arasına ince pirinç tabakalardan yerleştirerek ölümün hep hatırlanması vurgulandı. Genelde %23-29 çinko oranları ile bazen de kurşun ilavesi kullanılmaktaydı.Aynı zamanlarda pirincin geri dönüştürülüp yeniden ergitilmesi de yapılmaya başlandı.
Yün yapımında pirinç malzemelerin kullanılması endüstriyel devrim ile birlikte daha da yaygınlaştı. Daha sonra iğne ticareti önem kazandı. İğne yapımında % 15-20 çinko oranıyla soğuk şekil vermeyi kolaylaştırmak için az miktarda kurşun ve kalay ilaveleri yapılmaktaydı. Pirincin kolay imalat özellikleri, kolay işlenebilirliği ve korozyon dayanımı birçok hareketli aksamın imalatında standart metal haline gelmesini sağladı. Artık küçük büyük tüm saatler, gemicilik yön bulma cihazları pirinçten yapılır olmuştu.

İlk önceleri pirinç teller el ile çekiliyor ve pirinç tabakalar preslenerek imal ediliyorlardı. 1697 ilk haddeleme tezgahları pirince şekil vermeye başladı. 30 kg'lık pirinç tabakalardan iğne imalatı yapılmaktaydı. Haddeleme millerini su gücü çevirmekteydi. Tel çekmeden önce ara ısıl işlemle malzemeler ısıtılmaktaydı. Bu sistemler 19. yüzyılın ortalarına kadar kullanıldılar.

Ms60 pirincinin 1832'den sonra kullanılmaya başlanması ucuz ve kolay sıcak işlenebilir pirinç tabakaları yaygınlaştırdı. Bakırın yerini alarak gemi tahtalarının kaplanarak kurtlanmasını önlemek amacıyla kullanılmaya başlandı.

Bu kitap SARBAK METAL TİC. ve SAN. A.Ş.'nin sektöre armağanıdır. Para ile satılmaz.